على جناح الطائر الميمون

(2)

مقالات في "الطيران للجميع"



أ.د. محمود نديم نحاس

أستاذ هندسة الطيران

في جامعة الملك عبد العزيز (سابقًا)


على جناح الطائر الميمون
(2)
مقالات في"الطيران للجميع"
أ.د. محمود نديم نحاس
أستاذ هندسة الطيران
في جامعة الملك عبد العزيز (سابقًا)

بسم الله الرحمن الرحيم

{أَلَمْ يَرَوْا إِلَى الطَّيْرِ مُسَخَّرَاتٍ فِي جَوِّ السَّمَاءِ مَا يُمْسِكُهُنَّ إِلَّا اللَّهُ. إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ}

(القرآن الكريم، سورة النحل، الآية 79)

{أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الطَّيْرِ فَوْقَهُمْ صَافَّاتٍ وَيَقْبِضْنَ، مَا يُمْسِكُهُنَّ إِلَّا الرَّحْمَٰنُ. إِنَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ بَصِيرٌ}

(القرآن الكريم، سورة المُلك، الآية 19)

مقدمة

الحمدُ لله ربّ العالمين، والصلاةُ والسلامُ على سيدِ المُرسلين، مُحَمَّدٍ، وعلى آلهِ وصحبهِ أجمعين. وصدقَ اللهُ العظيمُ إذ يقولُ (إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ. الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَٰذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ).

أكتب هذه المقدمة بعد أيام من نشر ناسا لصور الكون الفسيح التي أرسلها تلسكوب جيمس ويب العملاق، فرأينا عظمة الخالق العظيم. ولقد أنعمَ علينا بهذه النعم، ويسَّرَ لنا أسبابَ العلمِ، فللهِ الحمدُ والمنة، وفضَّلنا على مخلوقاتِه الأخرى بما وهبنا من عقلَ لنفكرَ ونعملَ وننتجَ ونطوِّرَ ونتقدمَ ونخترعَ.

وكما قلتُ في مقدمة الكتاب الأول عن الطيران، فإنَّ الإنسانَ خُلقَ بلا أجنحةٍ، فلا يستطيعُ الطيرانَ كما تفعلُ الطيورُ، لكنَّهُ على مدى التاريخ كانَ يحلمُ أنْ يطيرَ في الجو. وإذا كانت كتبُ التاريخِ تذكرُ محاولاتِ عباسٍ بن فرناس للطيرانِ، فمن المؤكدِ أنَّ كثيرين قبلَهُ حاولوا ذلك، لكنْ لمْ يذكر التاريخُ محاولاتِهم. ويَدلُّ على ذلك ذِكرُ طيرانِ الإنسانِ في القصصِ الخياليةِ. كما يَدلُّ عليها بعضُ الرسوماتِ التي تُرى في معابدِ بعضِ البلدانِ، حيث يضعون الأجنحةَ لصورِ البشر.

لا يُعَدُّ تاريخ الطيران - في آلة أثقل من الهواء تعمل بالطاقة - تاريخًا طويلًا، فالمعروف أنه بدأ مع بداية القرن العشرين، عندما استطاع الشقيقان الأمريكيان أورفيل وويلبر رايت (Orville and Wilbur Wright) القيام بأول تجربة طيران ناجحة في 17 ديسمبر 1903. ففي ذلك اليوم طار الأخَوان بالتناوب أربع مرات على ارتفاع بسيط، لمسافات 37، 53، 61، 260 مترا، واستغرق الطيران 12، 12، 15، 59 ثانية على التوالي. ومنذ ذلك اليوم بدأ عصر الطيران، إلى أن وصلنا إلى ما نراه حاليا من طائرات ضخمة، ومركبات غزت الفضاء، ومحطات فضائية، وتلسكوبات فضائية عملاقة.

في العام 2014 استشارني الصديق المبدع د. أحمد محمد صالح بطيخ، الذي يعمل أستاذًا في إحدى الجامعات الفرنسية، حول إصدار مجلة إلكترونية خاصة بالطيران، تحت عنوان "الطيران للجميع"، ولتكون متاحة مجانًا

لجميع الناس عبر الشابكة (شبكة الإنترنت)، فشجعته على ذلك. وأعلمني عن نيته في إصدار العدد الأول منها في كانون الثاني (يناير) 2015، وأنه يريدني أن أكون معه في هيئة التحرير، وأن أكون كاتبًا دائما في المجلة، فوافقت وكتبتُ أول مقالة للعدد الأول منها عن "دراسة هندسة الطيران في الجامعات العربية"، من أجل تعريف الشباب العربي على الجامعات التي تتطرق لدراسة هندسة الطيران. وبقيتُ على مدى أكثر من خمس سنوات كاتبًا دائمًا في المجلة، فكَتبتُ ثماني عشرة مقالة في موضوعات شتى عن الطائرات والطيران. إلى أن توقفت المجلة عن الصدور في العام 2020 لأسباب خارجة عن الإرادة.

وإضافة إلى كتابة مقال في كل عدد من أعداد المجلة فقد أسهمتُ في مراجعة عدد من المقالات، عند انشغال المحرر والمُراجع اللغوي للمجلة.

والآن، وقد توقفت المجلة عن الصدور، فقد جاء الوقت لأن أجمعها في قرطاس واحد، فكان هذا الكتاب. وقد آثرتُ أن أضعها في هذا السِّفر مأخوذة بلا تغيير من أعداد المجلة، من أجل أن يبقى لها رونقها، فكأن القارئ الكريم يقرأ المقالات في مكان نشرها. وقد وضعتُ قبل كل مقالة غلافَ العدد الذي نُشرتْ فيه. وهذه الطريقة منعتني من تعقّب وتصويب الأخطاء اللغوية والنحوية، أو الأخطاء العلمية، وذلك لصعوبة تصحيحها وهي بالشكل الذي نُشرتْ عليه. وهناك مصدران للأخطاء، أولُهما الكاتب نفسه، إذ رغم الحرص والمراجعة قبل الإرسال للنشر فإن أي عمل بشري لا بد أن يشوبَه نقصٌ وخلل. والمصدر الثاني للأخطاء يحصل خلال عمليات تحرير وإخراج وتصميم ونشر المجلة.

وقد تركزتْ مقالاتي في المجلة على تقديم مدخل لعلوم هندسة الطيران، وذلك لتأتلف في سياق واحد مع مقالات أخرى لكتّاب آخرين نُشرت في المجلة نفسها، بحيث أصبح بالإمكان لاحقًا تحريرها وتنقيحها وجمعها في كتاب تحت عنوان "مدخل إلى علم الطيران"، الذي وُضع كمقدمة لدراسة هندسة الطيران لطلاب الجامعات والدبلوم، وكذلك للمهندسين من أهل الاختصاصات الأخرى. وتمَّ نشرُ الكتاب من قِبل مركز النشر العلمي بجامعة الملك عبد العزيز.

لقد كانَ الهدفُ من مجلة "الطيران للجميع" تقديمَ علوم هندسة الطيران للجميع دون الدخول في التفاصيل الهندسية. وهذا هو الذي حقَّقْتُه في مقالاتي المنشورة في المجلة، حيثُ حاولتُ تبسيطَ العلوم من أجل نشر ثقافة القراءة

العلمية المسلية لجميع قرّاءِ العربية. فالطيرانُ ممتعٌ، والحديثُ عنه ممتعٌ أيضًا. وهذا ما حرصتُ على تقديمه في المقالات المنشورة في هذا الكتاب. وكما جاءَ في مقدمةِ الكتابِ الأول من هذه السلسلة فإنَّ مِن طرائف الطيارين قولُ أحدهم "المتفائلُ والمتشائمُ كلاهما ضروريٌ للمجتمع، الأولُ اخترعَ لنا الطائرةَ، والثاني اخترعَ لنا مظلةَ الإنقاذ". وقولُ آخر "عندما تتكاتفُ العقباتُ في طريقك إلى النجاح، ويبدو أنَّ كلَّ شيءٍ يعملُ ضدَّكَ، تذكرْ أنَّ الطائرةَ تقلعُ عكسَ اتجاهِ الرياح، لا معَها، وعندَها ستدركُ أنَّه يمكن دومًا تحقيق النجاحَ رغم الصعوبات".

قد تشعرُ وأنتَ تطيرُ أن حركتَك ستكونُ أسهلَ لو لمْ يكنْ هناك هواءٌ، لأنَّه يقاومُ الحركة، لكنَّ الحقيقةَ أنه لا يمكنُ أن يحصلَ الطيرانُ في غياب الهواء، لأنَّ قوةَ الرفع تعتمدُ على وجودِ الهواء. أما في الفضاءِ بعيدًا عن هواءِ الغلافِ الجوي، فالأمرُ مختلفٌ. ومثلُ ذلكَ يُقالُ عن الجاذبية الأرضية، فقد يظنُّ الناس أنه لولاها لطرنا في الهواء، لكنْ ربما لا ندري كيف كنا سنتحكمُ في حركتنا، إذ من المتوقع أن تكونَ الأمورُ صعبةً، لأنَّ حركتَنا ستكونُ مثلَ حركةِ رُوّاد الفضاءِ داخلَ المحطة الفضائية أو عندما يسبحونَ في الفضاء.

وبعدُ، فهذا الكتابُ يمثلُ الجزءَ الثاني من إسهاماتي في مجال تبسيط الطيران للمهتمين بهذا المجال المهم في حياتنا، وقد أسميتُ السلسلة "على جناح الطائر الميمون"، أخذا من دعاءِ العرب لمن عزمَ على السفر "على الطائر الميمون"، أي: جعلَ اللهُ سفرَك مُيَسَّرا سهلا، فيه الخيرُ والبركة. لأنَّ اليُمنَ هو البركةُ والخيرُ والسعدُ. وأكثرُ ما يُقال هذا الدعاءُ في عصرنا لمن نوى السفر بالطائرة، فجاءَ الدعاءُ ملائما بين الطائرِ الميمونِ والرحلةِ السعيدة بالطائرة. ويقول ابن الرومي:

على الطائر الميمون والسعدِ فاركبِ   نجوتَ بإذن الله من كل مَعْطَبِ

وأودُّ أن أذكُرَ هنا بأنَّ لي كتبًا أخرى في مجال هندسة الطيران، وهي للمهندسين المختصين، ومِنْ أهمِّها "معجم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء"، وهو معجم مزدوج: إنجليزي/عربي وعربي/إنجليزي، ومتوفر للاستخدام على الشابكة (الإنترنت)، ووضعتُه بالاشتراك مع زميلين فاضلين. وهناك مجموعةُ مقالاتٍ في مجال الطيران نُشرتْ في مجلة "الطيران المدني"، التي تصدرها الهيئة العامة للطيران المدني في المملكة العربية السعودية، وقد تم نشرها في كتابٍ مستقل في الجزءِ الأولِ من هذه

السلسلة. هذا إضافة إلى مقالاتٍ أخرى متفرقة في صحفٍ ومجلاتٍ متعددة، وهذه أنوي إصدارها في كتاب مع باقي المقالات التي تبسطُ العلومَ للناس من غير ذوي الاختصاص، وأطلبُ من الله التوفيقَ والتيسيرَ والسدادَ.

وقبل أنْ أختمَ، أودُّ أنْ أقدّمَ شكري واحترامي لأعضاء هيئة تحرير مجلة "الطيران للجميع"، لِما بذلوه من جهدٍ لإخراج المجلة بشكلٍ أنيق. وهذه الهيئةُ محورُها، كما ذكرتُ آنفًا، الدكتور أحمد محمد صالح بطيخ، الذي كان يقومُ بمهمةِ رئيس التحرير، فَلَهُ مني وافر الامتنان والتقدير. وقد ساعدني كثيرا في إصدار هذا الكتاب والكتاب الذي سبقه.

أسألُ اللهَ أن يكون فيما أنشرُ فائدة لقراءِ العربية، وأنْ يجعلَه من العلم المشار إليه في الحديثِ النبوي (إذا ماتَ الإنْسانُ انْقَطَعَ عنْه عَمَلُهُ إلّا مِن ثَلاثَةٍ: إلّا مِن صَدَقَةٍ جارِيَةٍ، أَوْ عِلْمٍ يُنْتَفَعُ بِهِ، أَوْ وَلَدٍ صالِحٍ يَدْعُو له). وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

أ.د. محمود نديم نحاس

فهرس المقالات

م	عنوان المقالة	رقم العدد	تاريخ النشر
1	دراسة هندسة الطيران في الجامعات العربية	1	كانون الثاني (يناير) 2015
2	نبذة عن معجم مصطلحات هندسة الطيران والفضاء	1	كانون الثاني (يناير) 2015
3	أنواع الآلات الطائرة	2	آذار (مارس) 2015
4	أنواع الطائرات حسب تصنيف روسكام	3	أيار (مايو) 2015
5	تجربة تعريب بعض علوم هندسة الطيران	4	تموز (يوليو) 2015
6	خواص الغلاف الجوي	5	أيلول (سبتمبر) 2015
7	البالونات والمناطيد	6	تشرين الثاني (نوفمبر) 2015
8	سرعة الطائرة	7	كانون الثاني (يناير) 2016
9	النفق الهوائي	8	آذار (مارس) 2016
10	أجنحة الطائرة (1 من 2)	9	أيار (مايو) 2016
11	أجنحة الطائرة (2 من 2)	10	تموز (يوليو) 2016

م	عنوان المقالة	رقم العدد	تاريخ النشر
12	أجهزة الرفع العالي	11	تشرين الثاني (نوفمبر) 2016
13	الطيران بسرعات عالية	12	آذار (مارس) 2017
14	المتحف الكندي للطيران والفضاء	13	تموز (يوليو) 2017
15	أداء الطائرات	14	شباط (فبراير) 2018
16	النقل الجوي هو الأكثر أمانًا، والعام 2017 هو الأفضل	15	آذار (مارس) 2019
17	كلفة تشغيل طائرات الركاب	16	أيلول (سبتمبر) 2019
18	حوادث الطيران 2019	17	نيسان (إبريل) 2020

المقالات

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى - العدد 1 - كانون الثاني (يناير) 2015

flightforallmag.wordpress.com | fb/flightforallmagazine | tw/flightforallmag

كيف ستبدو طائرات المستقبل؟



ماذا يحدث في عالم الطيران كل

60 ثانية



دراسة هندسة الطيران

في الجامعات العربية



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

ما هي الهندسة؟

الهندسة هي تصميم وإنشاء وتطوير وتطبيق العلوم لتلبية حاجات المجتمع. إنها فهم العلوم من أجل تطوير الأدوات والأساليب. أما العلوم فتدرس الظواهر الطبيعية، وتستنبط النظريات والقوانين والحقائق للعالَم الذي أبدعه الخالق عز وجل، في حين تطور الهندسةُ الأشياءَ التي لا توجد في العالَم المخلوق لتحقيق حاجات الإنسان. والهندسة في هذا تعتمد على العلوم وتستخدم المواد الموجودة في العالَم. وبكلمات أخرى، العلم هو دراسة ما هو موجود، والهندسة هي إنشاء ما يمكن أن يُعمَل. والعلاقة بينهما متبادلة، فالهندسة تزدهر بتقدم العلوم، والعلماء يستفيدون من الأجهزة التي صنعها المهندسون لتقديم الجديد من الحقائق العلمية.

ما هي هندسة الطيران؟

هناك ثلاث كلمات في اللغة الإنجليزية تُترجم إلى العربية بكلمة طيران، مع ما بينهما من فرق. فكلمة Flight تعني حركة جسم خلال الغلاف الجوي أو الفضاء. وتُطلق أيضاً على مجموعة من الطائرات المشترِكة في إنجاز عملية معينة، وكذلك تعني رحلة جوية. وكلمة Aviation تُطلق على كل ما يتعلق بالطيران من علم وتِقنية وصناعة واستخدام للطائرات. وكلمة Aeronautics تعني علم الطيران، وهو العلم الذي يهتم بدراسة كيف يحدث الطيران، ومنها اشتقت هندسة الطيران Aeronautical Engineering أي فرع الهندسة الذي يهتم بدراسة وتصميم وبناء وتشغيل المَركبات التي تطير في الغلاف الجوي، وهو ما يُدرس في كليات الهندسة في الجامعات. وأغلب كليات الهندسة في العالم العربي تكون الدراسة فيها خمس سنوات بعد الثانوية العامة (القسم العلمي). وخريج هندسة الطيران يُسمى Aeronautical Engineer، ولا علاقة له بمهندس الرحلة Flight Engineerالذي هو أحد أفراد طاقم مقصورة القيادة في الطائرة والمسؤول عن الأجهزة فيها، وفي الغالب تكون دراسته لمدة سنتين بعد الثانوية العامة. وفي الطائرات الحديثة ألغيت هذه المهمة بعد أن أصبحت الأجهزة مبرمجة في حاسوب واحد، وأصبح الطيار ومساعده مسؤولين عنها. وكذلك يجب عدم الخلط بين مهندس الطيران وفني الصيانة الذي يدرس أيضاً لمدة سنتين بعد الثانوية، ويحصل على رخصة خاصة تؤهله للعمل في صيانة الطائرات.

ومنذ بدأ عصر الفضاء تغير اسم كثير من أقسام هندسة الطيران إلى هندسة الطيران والفضاء أو

الهندسة الجوية الفضائية Aerospace Engineering، لتشمل دراسة وتصميم المَركبات الطائرة في الغلاف الجوي أو الفضاء الخارجي، على اعتبار أن كلمة aerospace تشمل الطيران في الغلاف الجوي (aero) والفضاء (space) أي ما بعد الغلاف الجوي. وهناك أيضًا طيران الفضاء Astronauticsوهو علم دراسة حركة الأجسام في الفضاء الخارجي، ومنها جاء تعبير هندسة طيران الفضاءAstronautical Engineering الذي هو تصميم وبناء وتشغيل مَركبات الفضاء. ويجب عدم الخلط بينه وبين علم الفلك Astronomy الذي يهتم بدراسة الأجسام السماوية، وليس دراسة المَركبات التي هي من صنع الإنسان.

ماذا يدرس الطالب في هندسة الطيران؟

تختلف المواد التي يدرسها طلاب هندسة الطيران من قسم لآخر، لكن هناك أربع مجموعات من المواد يحتويها منهاج أي قسم في هندسة الطيران، وهي:

1. ميكانيك الطيران (Flight Mechanics). ويتطرق إلى كيف تطير الطائرة؟ وكيف تستقر في الجو؟ وكيف يُتحكم بها؟
2. ديناميك الهواء (Aerodynamics). ويتطرق إلى نظريات حركة الأجسام في الهواء، بالسرعات دون الصوتية وبالسرعات فوق الصوتية.
3. تحليل إنشاءات (أو هياكل) الطائرات (Aircraft Structures). ويتطرق إلى حساب الإجهادات في كل جزء من أجزاء الطائرة، واختيار المواد المناسبة لها، والأبعاد التي لا تؤدي إلى انهيارها. إضافة إلى مواد أكثر عمقًا مثل دراسة التشققات في الإنشاءات، ودراسة عمرها.
4. محركات الطائرات أو مصدر الطاقة في الطائرة (Aircraft Engines or Powerplants).

لكن يُضاف إلى هذه المواد مواد أخرى تختلف من جامعة لأخرى، مثل:

- أنظمة الطائرات (Aircraft Systems). مثل الأنظمة الإلكترونية وأنظمة الاتصال وأجهزة القياس... إلخ.
- تصميم الطائرات (Aircraft Design)، أي الوصول إلى مواصفات معينة للطائرة لتؤدي الدور المناط بها.
- هندسة النقل الجوي (Air Transport Engineering)، كدراسة تخطيط عمليات الصيانة وتخطيط الأسطول وضبط مخزون قطع الغيار والسلامة الجوية... إلخ.
- الطيران في الفضاء، أي بعد الغلاف الجوي، وفيه مواد تشبه مواد الطيران في الغلاف الجوي، كدراسة إنشاءات مركبات الفضاء والمحركات المناسبة لها وكيفية التحكم بها... إلخ.

أقسام هندسة الطيران في الجامعات العربية

وفي هذه المقالة نبذة عن بعض أقسام هندسة الطيران في الجامعات العربية. ولا أجزم بأني أحصيتها كلها، إذ جمعت المعلومات من الإنترنت والمواقع الرسمية لمختلف الجامعات. ولذا فإني أرحب بأي إضافات لتُستدرك في مقالة تالية بإذن الله.

قسم هندسة الطيران والفضاء بجامعة القاهرة

قسم هندسة الطيران والفضاء بجامعة القاهرة في جمهورية مصر العربية هو أقدم قسم لدراسة هندسة الطيران في العالم العربي. في أواخر الثلاثينيات من القرن العشرين فكّر عميد كلية الهندسة بجامعة فؤاد الأول (قبل أن تُسمى بجامعة القاهرة) في إنشاء دراسات لهندسة الطيران في الكلية، فبعث أحد أعضاء هيئة التدريس بالكلية إلى بريطانيا للاطلاع على برامج وطرق تدريس هندسة الطيران، وعاد بعد سنة ليتعاون مع بعض الأساتذة الآخرين في الكلية وأُنشئت دراسات للطيران في السنة الرابعة كشعبة من شُعب الهندسة الميكانيكية، وكان ذلك في السنة الجامعية 1938-1939. ثم توالى إيفاد المعيدين إلى أوروبا وأمريكا للدراسات العليا في هذا التخصص. وفي أواخر الأربعينيات طورت دراسة هندسة الطيران في قسم الهندسة الميكانيكية لتبدأ من السنة الثالثة، وذلك بعد أن عاد بعض المبعوثين المتخصصين في مجال هندسة الطيران. وفي السنة الجامعية 1953-1954 حولت الشعبة إلى قسم علمي مستقل يمنح درجة البكالوريوس في هندسة الطيران، وظل على هذا الحال حتى سنة 1972 حيث رأت الجامعة ضم كل طلاب الأقسام الميكانيكية في دراسة واحدة يتشعبون بعدها جزئيًا في السنة الرابعة، إلى أن استقل القسم مرة أخرى في السنة الجامعية 1986-1987 .

قسم هندسة الطيران بجامعة طرابلس

أنشئ قسم هندسة الطيران في كلية الهندسة بجامعة طرابلس في ليبيا مع بداية السنة الدراسية 1975-1976 كجزء من كلية الهندسة للقيام بتأهيل المهندسين في مجالات هندسة الطيران. ويقدم قسم هندسة الطيران برنامجًا للدراسة الجامعية (درجة البكالوريوس) كما يقدم برنامجًا في الدراسات العليا



(درجة الماجستير) منذ سنة 1988.

قسم هندسة الطيران بجامعة الملك عبد العزيز

نشأ قسم هندسة الطيران في جامعة الملك عبد العزيز بمدينة جدة في المملكة العربية السعودية، كشُعبة من شُعب الهندسة الميكانيكية منذ تأسيس كلية الهندسة في السنة الجامعية 1975-1976. أنشئ قسم هندسة الطيران كقسم مستقل عند إعادة تنظيم قسم الهندسة الميكانيكية في السنة 1982، وذلك تلبية لاحتياجات خطة التنمية في المملكة العربية السعودية في هذا المجال الحيوي. ويقدم قسم هندسة الطيران برنامج البكالوريوس في هندسة الطيران، كما يُقدم برنامجين في الدراسات العليا، الماجستير والدكتوراه. وبرنامج قسم هندسة الطيران، مع غيره من برامج كلية الهندسة في الجامعة، حاز الاعتماد الأكاديمي من هيئة الاعتماد الأكاديمي لبرامج الهندسة والتقنية Accreditation Board for Engineering and Technology والمشهورة باسمها المختصر ABET.

قسم هندسة الطيران بجامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

تأسست جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا سنة 1990 مما كان يُسمى قبل ذلك بمعهد الكليات التكنولوجية. وتضم الجامعة عدداً كبيراً من الكليات والمعاهد، ومنها كلية الهندسة التي فيها قسم لهندسة الطيران.

قسم هندسة الطيران بجامعة بغداد

افتتح فرع هندسة الطيران ضمن قسم الهندسة الميكانيكية بكلية الهندسة بجامعة بغداد في العراق سنة 1990.

هندسة الطيران بكلية الإمارات للطيران

تأسست كلية الإمارات للطيران -الدراسات الأكاديمية وعلوم الطيران في سنة 1991 في مجالات المراقبة الجوية وهندسة الطيران وصيانة الطائرات. وفي سنة 2001، دمجت إدارة الكلية مع طيران الإمارات لتشكل الجناح الأكاديمي لمجموعة الإمارات. وتتميز كلية الإمارات للطيران- الدراسات الأكاديمية وعلوم الطيران عن غيرها من الكليات والجامعات بتقديم برامج تعليمية متخصصة في مجالات هندسة صيانة الطائرات والسياحة والسفر وإدارة الأعمال وإدارة الطيران. وتوفر الكلية برامجَ لنيل درجة البكالوريوس في تخصصين هما: إدارة النقل الجوي وهندسة الطيران. كما توفر الكلية مجموعة من البرامج المهنية المتخصصة في مجالات عدة في مجال التعليم المهني، (هندسة صيانة الطائرات، هندسة الكمبيوتر والإلكترونيات، تطوير برمجيات الكمبيوتر، إدارة الأعمال، إدارة السياحة). كما توفر الكلية برامجَ لنيل درجة ماجستير إدارة أعمال في إدارة الطيران، وفي الخدمات اللوجيستية وإدارة الإمداد، وفي إدارة تقنية المعلومات.

قسم هندسة الطيران بجامعة كَرّري في السودان

تبلورت فكرة إنشاء أكاديمية كرري للتقانة -رُقيت لاحقًا لتكون جامعة كرري- كمؤسسة علمية عسكرية عليا تعنى بإعداد الكوادر الهندسية والتقنية لسد حاجة القوات المسلحة المتزايدة في واقع التطور المضطرد لتقنيات الآليات والمعدات العسكرية، وتحسبًا للتطور المنشود في الصناعة الحربية المحلية، ولتوجيه البحث العلمي لخدمة التوجه الحضاري للأمة، ودعم مسيرة التنمية والصناعة عامة. وواضح أن هذه الجامعة خاصة بالمهندسين الذين يعملون في القوات المسلحة السودانية، وقد بدأت الدراسة فيها سنة 1994، علماً بأن الجامعة نفسها فيها كلية أخرى متخصصة بعلوم الطيران، أي تعليم الطيران والملاحة الجوية والمراقبة الجوية، وهذه تخصصات غير التخصصات الهندسية التي تُدرّس في كلية الهندسة.

قسم هندسة الطيران بجامعة حلب

تأسس قسم هندسة الطيران في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب في سوريّة في السنة الجامعية 2001-2002، بهدف تخريج مهندسين قادرين على تصميم وصيانة الطائرات. ويقدم القسم برامج هندسية لمرحلتي البكالوريوس والدراسات العليا (الماجستير والدكتوراه).

هندسة الطيران والفضاء بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن

نشأ قسم هندسة الطيران والفضاء بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن بالظهران في المملكة العربية السعودية كشعبة من شُعب الهندسة الميكانيكية منذ سنة 1984، ليستقل بعد ذلك في سنة 2002. ويقدم القسم برامج في هندسة الطيران في مرحلتي البكالوريوس والماجستير. وقد حاز برنامج البكالوريوس الاعتماد الأكاديمي من هيئة الاعتماد الأكاديمي لبرامج الهندسة والتقنية.ABET

قسم هندسة الطيران بجامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية

تأسست كلية الهندسة بجامعة اليرموك سنة 1979. وفي سنة 1986 انفصلت الجامعة إلى جامعتين، إحداهما بقيت باسم جامعة اليرموك وضمّت حينها الكليات الإنسانية، في حين حملت الجامعة الأخرى مسمّى جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية وضمت الكليات العلمية. وكانت هندسة الطيران تُدرس كمواد في السنة الأخيرة من قسم الهندسة الميكانيكية إلى أن تأسس قسم هندسة الطيران سنة 2009.

كلية هندسة الطيران بالجامعة الدولية بالرباط

أنشئت هذه الكلية في المغرب العربي سنة 2010. وتقوم برامج كلية هندسة الطيران في الجامعة الدولية بالرباط بتحضير الطلبة لمهنة المهندس، وتوفير الكفاءات للاستجابة للطلب على المهارات ودعم التنمية في المغرب في قطاعات التكنولوجيا العالية، واستباق التطور السريع للتكنولوجيات المرتبطة بالنقل. وتوفر "مدرسة هندسة الطيران" في الجامعة الدولية بالرباط تكوينًا رفيع المستوى في مجال الطيران والفضاء ويشمل مجالات واسعة من الخبرة تجمع بين التكوين النظري الدقيق والبحث التكنولوجي التطبيقي. ولذلك، توفر المدرسة للطلبة دروسًا متعددة التخصصات تركز على مجالات الهندسة الدقيقة، وتتوجه نحو الطيران والفضاء. وتشجع "مدرسة هندسة الطيران" البحث في هذا المجال بإحداث مختبرات في التكنولوجيا الدقيقة بفضل اتفاقيات الشراكة مع الفاعلين الأكاديميين والصناعيين في هذا القطاع، مثل مجموعة "طاليس" و"معهد جورجيا للتكنولوجيا"

قسم هندسة الطيران بجامعة بليدة في الجزائر

منذ استقلال الجزائر، ظهرت الحاجة لمدرسة الطيران الجزائرية خصوصًا للتعويض عن العجز في الموظفين المؤهلين في المجالات التقنية (البناء والصيانة والتشغيل). في المرحلة الأولى أنشئت مدرسة الطيران المدني والعسكري EACM التي عملت بين 1963-1970 في الدار البيضاء ومدرسة ENATAC التي عملت بين 1979-1985 ومقرها في قسنطينة. ثم أنشئ معهد البليدة للملاحة الجوية في 1986 باسم "المعهد الوطني للتعليم العالي" حتى إنشاء جامعة البليدة في 1989 وعندها أصبح بمستوى معهد جامعي.

قسم الطيران وتقاناته بالمعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في سورية

أنشئ فرع المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في مدينة حلب ليكون امتدادًا للمعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق الذي أنشئ سنة 1983. وبدأ العمل في فرع المعهد العالي بحلب بدءًا من السنة الدراسية 2010-2011. ويضم الأقسام التالية:

قسم الهيكل: ويهدف إلى إعداد مهندسين مؤهلين للعمل في مجال إنشاءات هياكل ونظم المركبات الجوية.

قسم الدفع: ويهدف إلى إعداد مهندسين مؤهلين للعمل في مجال دفع الأجسام الطائرة.

قسم التحكم والتجهيزات المحمولة: ويهدف إلى تكوين مهندسين مؤهلين في مجال التجهيزات المحمولة (تحكم- كهرباء- إلكترونيات- معلومات).



نبذة عن معجم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء



أ.د. محمود نديم نحاس

مؤلف رئيس ومُراجع ومشرف على تحرير المعجم

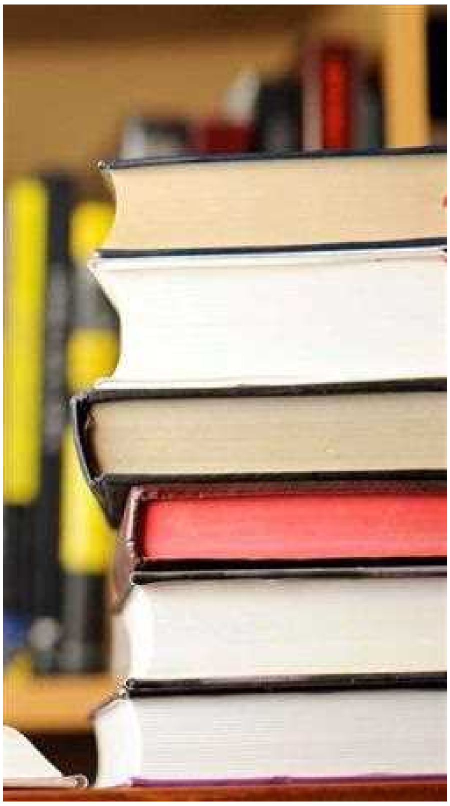
قام مجموعة من الأساتذة في جامعة الملك عبد العزيز في المملكة العربية السعودية بوضع معجم يضم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء، وذلك لسد النقص في المكتبة العربية في هذا المجال المهم من حياة الإنسان اليوم، حيث مازالت المصطلحات الأجنبية تُستخدم في الجامعات وشركات الطيران ووسائل الإعلام. ولعل هذا المعجم يسهم في تيسير عملية ترجمة العلوم إلى العربية .

وقد زاد عدد المُدخلات في المعجم عن ثلاثة عشر ألف وخمسمئة مصطلح علمي وفني، ليكون أول معجم تخصصي شامل من نوعه في المكتبة العربية. وهو في الحقيقة معجمان في كتاب واحد، إنه معجم إنجليزي – عربي، ومعجم عربي – إنجليزي. في الأول رُتِّبت المصطلحات على الأبجدية الإنجليزية، وإزاء كل مصطلح بالإنجليزية عُرض ما يوازيه بالعربية، مع شرح موجز عنه يوضحه ويبيّن استخداماته. وفي الثاني رُتبت المصطلحات حسب الترتيب الهجائي للغة العربية، وعُرض المصطلح الإنجليزي الموازي دون إعادة الشرح.

ويأمل المؤلفون، وقد أخذ منهم جهدًا ووقتًا، أن يلقى قبولاً من أهل الاختصاص، كما يأملون بأن يكتب إليهم مستخدموه ما يرونه من ملاحظات لاستدراك ما فيه من نقص أو خلل.

وتماشياً مع الوسائل الحديثة للنشر العلمي، فقد وُضِعَ المعجم بشكل إلكتروني على موقع الجامعة ويمكن لأي أحد استخدامه بدخوله إلى الرابط:

http://prod.kau.edu.sa/AeroDic



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى - العدد 2 - آذار (مارس) 2015
flightforallmag.wordpress.com | fb/flightforallmagazine | tw/flightforallmag



الكونكورد ملكة الجو

أمن وسلامة الطائرات

الطيّار الأول في التاريخ

كيف تطير الطائرات؟



أنواع الآلات الطائرة



أ.د. محمود نديم نحّاس
خبير في هندسة الطيران

هناك عدة كلمات في اللغة الإنجليزية تترجم بكلمة "طائرة" باللغة العربية، لكن هناك فروق دقيقة بين هذه المصطلحات. والهدف من هذه المقالة هو إيضاح الأنواع العامة للطائرات لأكمل الحديث في مقالة قادمة عن طرق تصنيف الطائرات.

إن كل الآلات المصنوعة من قِبل الإنسان، والتي بإمكانها أن تطير في الجو بواسطة قوى ناتجة عن الهواء، تُسمى طائرة (Aircraft) أو تُسمى أحيانًا آلة طائرة (Flying Machine)، ويُلاحظ بأن كلمة (Aircraft) تُطلق في الإنجليزية على المفرد والجمع، أي لا تأخذ حرف الـ s في الجمع.

وهناك نوعان رئيسيان من الآلات الطائرة: الأخف من الهواء (Lighter than air)، والأثقل من الهواء (Heavier than air).

يشمل النوع الأول المناطيد (Airships) والبالونات (Balloons). فهذه محمولة بالهواء، وليس كما يُقال أحيانًا بأنها محمولة بالغاز الذي فيها، إنما محمولة بالهواء الذي يزيحه هذا الغاز. وتُسمى الطائرات الأخف من الهواء أيضًا بمركبات الهواء الساكن (Aerostats).

أما طائرات النوع الثاني، أي الأثقل من الهواء، فتُسمى أحيانًا بطائرات الهواء المتحرك (Aerodynes)، وتشمل عددًا أكبر من الآلات الطائرة. وهذه يمكن أن تُصنف إلى نوعين رئيسيين: المُقادة بالطاقة (Power-driven) وغير المقادة بالطاقة (Non-power-driven). وهذا النوع الأخير هو الطائرات الشراعية بنوعيها (Gliders and Sailplanes). والتمييز بين هذين النوعين ليس سهلًا، إذ يقال أن النوع الثاني (Sailplanes) أخف من النوع الأول، وبإمكانه أن يعلو أو يحلّق عبر تيارات الرياح الصاعدة.

أما الطائرات المقادة بالطاقة فتُقسم إلى نوعين: الطائرات ذات الأجنحة الثابتة (Fixed wing aircraft)، والطائرات ذات الأجنحة الدوّارة (Rotorcraft). وهنا يُلاحظ أن الطائرات ذات الأجنحة الثابتة هي الوحيدة التي تُسمى (Airplanes) أو (Aeroplanes)، وذلك على خلاف بين الإنجليزية الأمريكية والبريطانية. ولعل هذا يوضح الفرق بين كلمتي (Aircraft) و(Airplane) اللتين تُترجمان إلى العربية بكلمة واحدة هي "طائرة".

ويشمل مصطلح الطائرات ذات الأجنحة الثابتة الطائرات التي تقلع من اليابسة وتحط عليها (Land planes) وتلك التي تقلع من سطح الماء وتحط عليه (Seaplanes)، كما تشمل بالطبع الطائرات البرمائية (Amphibians) التي تجمع بين الأمرين. والطائرات المائية نفسها يمكن أن تُصنّف إلى نوعين: الطائرات العائمة (Float planes) والمراكب الطائرة (Flying boats). أما الطائرة العائمة فهي طائرة فعلًا، لكن لها عوامات تجعلها تطوف على وجه الماء، في حين أن المركب الطائر فهو مركب مائي له أجنحة للطيران.

الطائرات ذات الأجنحة الدوّارة (Rotary wing aircraft) والتي يدخل فيها طائرات الهليكوبتر أو الطائرات العمودية (Helicopters) لا تدخل في مصلح (Airplane). تُسمى طائرات الهليكوبتر في الإعلام أحيانًا بالمروحيات، لكن هذا يؤدي إلى الخلط بينها وبين الطائرات العادية ذات المراوح (Propeller-driven aircraft)، أي الطائرات غير النفاثة، والتي سنتطرق إليها في مقال قادم. وتُسمى أحيانًا بالحوامات، لكن هذا التعبير مُستَخدَم لترجمة (Hovercraft). ولطائرات الهليكوبتر أنواع، ربما الأفضل أن يبحث في شأنها في مقال منفصل.

وهناك خلاف حول: هل الحوامات (Hovercraft) التي تسير على وجه الماء هي شكل من الآلات الطائرة (Aircraft) أم لا.

يمكن إضافة أنواع أخرى من الآلات الطائرة وهي التي تخص الطيران في الفضاء، فهذه لا بد لها من الطيران في الغلاف الجوي في طريقها إلى الفضاء أو في طريق عودتها إلى الأرض. وهناك أيضًا الطائرات ذات الأجنحة الخفّاقة، وكذلك المركبات الأرضية الطائرة التي تجمع بين السيارة والطائرة، إلخ.

وقد يلحظ القارئ الكريم عدم التطرق إلى أنواع أخرى من الطائرات، مثل طائرات الإقلاع والهبوط العمودي VTOL، لكن هذه الطائرات أيضًا يمكن التطرق إليها في مقال منفصل. وهي على كل حال ليست نوعًا منفصلًا عما ذُكر، إلا عند الحديث عن طريقة إقلاعها أو هبوطها عموديًا، فقد يكون ذلك بطريقة الهليكوبتر، وهذه لها محركات مروحية تكون أفقية في الطيران لتعطي الدفع للأمام، لكنها تصبح رأسية في حالتي الإقلاع والهبوط لتعطي الرفع للأعلى. والأحدث من ذلك طريقة الإقلاع والهبوط عموديًا باستخدام النفث للأسفل، وهذا هو حال الطائرة الحربية المشهورة، طائرة Harrier ■


Balloons بالونات


Float plane طائرة عائمة


Sailplane طائرة شراعية


Airship منطاد

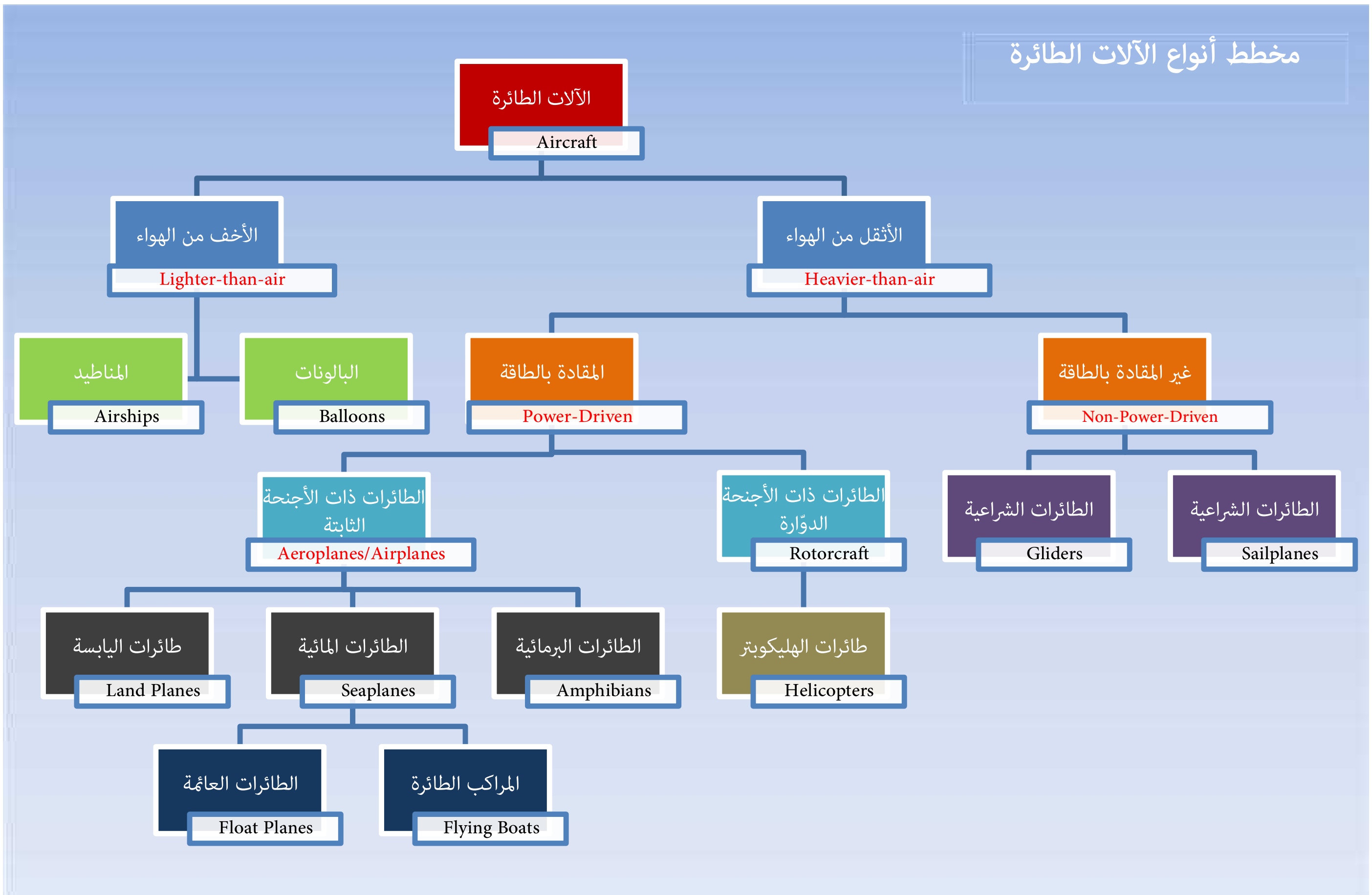

Glider طائرة شراعية


Helicopter الطائرات العمودية


Jet Airplane طائرة نفاثة


Flying boat مركب طائر


VTOL طائرات الإقلاع والهبوط العمودي



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى – العدد 3 – أيار (مايو) 2015
www.ffamag.com | fb/flightforallmagazine | tw/flightforallmag



السيارة الطائرة... من الخيال إلى الواقع

كيف تصمّم الطائرات؟

الخوف من الطيران

ما هو الصندوق الأسود؟

منعكسات حادث جيرمان وينغز



أنواع الطائرات
حسب تصنيف روسكام



أ.د. محمود نديم نحّاس
خبير في هندسة الطيران

في تصميم الطائرات، كما في تصميم غيرها من الأمور، يبدأ المصمم من حيث انتهى الآخرون، ليضع إضافته لمن بعده. وهناك عدد من الكتب التي تناولت موضوع تصميم الطائرات، لكن كتاب "روسكام" (Roskam) جاء في ثمانية أجزاء، وبحث موضوع تصميم الطائرات بكثير من التفصيل.

وحيث أن المهندس المصمم في أي مجال من المجالات يحتاج إلى كثير من المعلومات ليقوم بتصميمه، فإن طريقة روسكام في التصميم الأولي للطائرات تعتمد على الاستفادة مما وصل إليه الآخرون. ومن هنا، فإنه جمع في كتابه معلومات ضخمة عن الطائرات، وقدّمها جاهزة للمصمم.

وتعتمد طريقة روسكام أساسًا على المعلومات الإحصائية عن الطائرات التي سبق تصميمها وإنتاجها، وعلى الخبرة السابقة المتراكمة عبر السنين. ولهذا السبب فإن كتابه يحوي كثيرًا من المعلومات الإحصائية والمعادلات الوضعية (Empirical equations) التي تُعين المصمم على اختيار ما يناسب طائرته التي هو بصدد تصميمها. ونظرًا إلى أن الطريقة المتبعة تعتمد على ما ذُكر، فإنها محدودة بتوفر المعلومات الإحصائية عن الأنواع المختلفة من الطائرات.

ومن الطبيعي أن المعلومات لا يمكن تعميمها، فما يصلح لطائرة صغيرة لا ينطبق على طائرة كبيرة. ومن هنا فإن روسكام صنّف الطائرات إلى اثني عشر نوعًا. وقد سمّى كتابه Airplane Design، أي أن كتابه ليس في تصميم المَركبات الطائرة Aircraft عمومًا، بل هو فقط في الطائرات Airplane (أو بالرسم البريطاني Aeroplane)، وقد تحدثت عن الفرق بين هذه المصطلحات في مقالتي في العدد السابق من هذه المجلة. فكتابه إذن عن الطائرات الأثقل من الهواء (أي لا يدخل فيها البالونات والمناطيد)، المقادة بالطاقة (أي لا يدخل فيها الطائرات الشراعية)، ذات الأجنحة الثابتة (أي لا يدخل فيها الهليكوبتر).

وهذه هي الأنواع الاثنا عشر للطائرات حسب تصنيف روسكام:

1) **الطائرات بيتية الإنشاء المقادة بالمروحة أو الداسر (Homebuilt Propeller Driven Airplanes).** والطائرة من هذا النوع يقوم بتصميمها وبنائها الهواة لاستخدامهم الشخصي. (الصورة A-1 – الصورة B-1 لطائرة في مرحلة الإنشاء)

2) **الطائرات وحيدة المحرك المقادة بالمروحة أو الداسر (Single Engine Propeller Driven Airplanes).** والطائرة من هذا النوع ربما لا يزيد عدد ركابها عن ستة ركاب، ويكون لها مروحة ظاهرة في مقدمتها، يقودها محرك مكبسي (Piston Engine) مخفي خلفها. والمحرك المكبسي مثل

محرك السيارة، وهناك طائرات من هذا النوع قد تكون مروحتها في الخلف، ولكل تصميم مزاياه. (الصورة A-2 بمروحة أمامية – الصورة B-2 بمروحة خلفية)

3) **الطائرات ذات المحركين والمروحتين أو الداسرين (Twin Engine Propeller Driven Airplanes).** وهذه الطائرات أكبر من سابقتها وتحمل عددًا أكبر من الركاب، ومحركاها متماثلان ومخفيان في كُتّة خاصة على الأجنحة، في حين تكون مراوحها ظاهرة للعيان. (الصورة 3)

4) **الطائرات الزراعية (Agricultural Airplanes).** وتُستخدم في الزراعة لرش المبيدات أو لسقي النباتات. (الصورة 4)

5) **طائرات رجال الأعمال النفاثة (Business Jets)، وقد تُسمى طائرة الإدارة التنفيذية (Executive Jet).** وهي طائرات نفاثة صغيرة مقارنة بطائرات النقل النفاثة، ويقتنيها رجال الأعمال، أو الشركات، وذلك من أجل سفر الإدارات العليا، حتى يستطيع أحدهم السفر في أي وقت ولا يرتبط بمواعيد السفر مع شركات الطيران. وفي العادة يُعتنى بتصميمها الداخلي لتكون مؤهلة لعقد الاجتماعات أثناء السفر، كما للنوم. وفي كثير من الأحيان لا تكون محركاتها مركّبة على الأجنحة، بل على بدن الطائرة ومن الخلف قرب الذيل، وذلك لتقليل الضجيج داخلها. وهناك شركات تؤمن مثل هذه الطائرات لرجال الأعمال وللشركات بما يُسمى بالملكية المشتركة. وهذا موضوع يستحق مقالة منفصلة. (الصورة A-5، الصورة B-5 تصميم داخلي للنوم)

6) **الطائرات الإقليمية المقادة بالمحركات العنفية والمراوح (Regional Turbo Propeller Driven Airplanes).** وهذه الطائرات أكبر من طائرات النوع الثالث المذكور آنفًا، ومحركاتها ليست مكبسية بل عنفات (أو تربينات) غازية. وقد يصل عدد محركاتها إلى أربعة. وسادت فترة طويلة من الزمن كوسيلة نقل جوي قبل عصر المحركات النفاثة. ومازالت مستخدمة للمسافات القصيرة. (الصورة A-6 تصميم بأربع محركات، الصورة B-6 تصميم بمحركين)

7) **طائرات النقل النفاثة (Transport Jets).** وهي الطائرات السائدة اليوم في النقل الجوي. وفي الحقيقة فإن محركات هذه الطائرات ذات مراوح أيضًا، لكنها مخفية في كُتّة المحرك نفسه، ولا تُسمى داسرًا (Propeller)، بل تُسمى مروحة (Fan). ومهمة المروحة هنا شفط الهواء إلى داخل المحرك، علمًا بأن جزءًا من الهواء قد لا يدخل المحرك، بل يشكل نفثًا باردًا، في حين يدخل الجزء الآخر من الهواء إلى المحرك العنفي (التربيني) ليحرق الوقود ويشكل النفث الحار. وموضوع محركات الطائرات ربما بحاجة إلى مقالة منفصلة. (الصورة 7)

8) **طائرات التدريب العسكرية (Military Trainers).** وهي طائرات متنوعة، مروحية أو نفاثة، وتُستخدم لتدريب الطيارين العسكريين. (الصورتان A-8، B-8)

9) **الطائرات المقاتلة (Fighters).** وتختلف عن الطائرات المدنية بإمكاناتها في المناورات، عدا عن حملها لمختلف أنواع التسليح على أجنحتها. (الصورة A-9، الصورة B-9 عدة طائرات في تشكيل)

10) **طائرات المراقبة والطائرات القاذفة وطائرات النقل العسكرية (Military Patrol, Bomb and Transport Airplanes).** (الصورة A-10 طائرة قاذفة، الصورة B-10 طائرة مراقبة، الصورة C-10 طائرة نقل عسكري)

11) **المراكب الطائرة والطائرات البرمائية والطائرات ذات العوامات (Flying Boats, Amphibious and Float Airplanes).** (الصورة A-11 طائرة برمائية، الصورة B-11 طائرة ذات عوامات، الصورة C-11 طائرة مركب طائر)

12) **الطائرات فوق الصوتية (Supersonic Cruise Airplanes).** (الصورة 12)

ومن باب استكمال الموضوع وحسب قولهم: لا يغني كتاب عن كتاب، فهذا استطراد حول الكتب التي تناولت موضوع تصميم الطائرات. ومن هذه الكتب، كتاب Torenbeek الذي، مع قدمه النسبي، يحوي كثيرًا من المعلومات المهمة. وكتاب Corning، الذي اهتم أيضًا بطائرات الإقلاع والهبوط العمودي. وكتاب Fielding، وكتاب Howe، وهو من أشهر أساتذة تصميم الطائرات في بريطانيا، الذي جمع بين الخبرة العملية والخبرة التعليمية. وكتابا Raymer، وهما من الكتب المهمة لطلاب هندسة الطيران، والثاني منهما مخصص للذين يبنون طائراتهم بأنفسهم. وكتاب Stinton، الذي يهتم بالطائرات الصغيرة خصوصًا، وكتاب Corke، وكتاب Jenkinson وMarchman وقد كُتب خصوصًا للطلاب. أما كتاب Thurston، فهو موضوع خصوصًا للمصممين الهواة غير المهندسين. وفي نهاية هذه المقالة، فُصّلت عناوين هذه الكتب حسب التسلسل الأبجدي لمؤلفيها ليستطيع المهتمون الرجوع إليها

Corke, T. C. (2002). Design of Aircraft. Prentice Hall. USA.

Corning, S. P. (1983). Supersonic and Subsonic, CTOL and VTOL Airplane Design. 4th Edition. Gerald Corning. USA.

Fielding, J. P., Rycroft, M. J. (ed.) and Shyy, W. (ed.) (1999). Introduction to Aircraft Design (Cambridge Aerospace Series). Cambridge University Press, UK.

Howe, D. (2000). Aircraft Conceptual Design Synthesis. Professional Engineering Publisher Ltd. UK.

Jenkinson, L. R. and Marchman, J. F. (2003). Aircraft Design Projects for Engineering Students. Elsevier Science Ltd. UK.

Raymer, D. P. (1999). Aircraft Design: A Conceptual Approach (AIAA Education Series). American Institute of Aeronautics & Astronautics. USA.

Raymer, D. P. (2002). Simplified Aircraft Design for Homebuilders. Design Dimension Press. USA.

Roskam, J. (1989). Airplane Design (8 Volumes). DAR Corporation. USA.

Stinton, D. (2001). The Design of the Airplane. 2nd Edition. American Institute of Aeronautics & Astronautics. USA.

Torenbeek, E. (1982). Synthesis of Subsonic Airplane Design. Kluwer Academic Publishers. UK.

Thurston, D. B. (1978). Design for Flying, McGraw-Hill Book Co. USA



A-1



B-1



A-2



B-2



3



4



A-5



B-5



A-6



B-6



7


A-8


B-8


A-9


B-9


A-10


B-10


C-10


A-11


B-11


C-11


12

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى - العدد 4 - تموز (يوليو) 2015
www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

بوينغ وإيرباص .. صراع الجبابرة





تجربة تعريب بعض علوم هندسة الطيران



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

هذه المقالة ملخص عن بحث قُدّم إلى المؤتمر الدولي الرابع للغة العربية، في الندوة الخاصة بمسألة التعريب وتحدياتها. فمنذ أن بدأتُ العمل في التعليم الجامعي، أدركتُ أن مستوى الطلاب في اللغة الإنجليزية ليس بالمستوى الذي يؤهلهم لفهم العلوم باللغة الإنجليزية، ولذا بدأتُ عملًا موسوعيًا في وضع معجم ثنائي اللغة عنوانه: "معجم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء"، كان الهدف منه تسهيل تعريب علوم هندسة الطيران والفضاء. ولئن تأخرت طباعة المعجم ورقيًا، فقد سارعتُ بوضعه على الإنترنت لتسهيل العمل على الباحثين والطلاب. كما تابعت مسيرة التعليم الجامعي باللغة العربية، وألّفت أربعة كتب في اختصاصي في مجال تصميم الطائرات والتصميم الإنشائي للطائرات، نُشر منها حتى الآن كتاب واحد، وما تزال بقية الكتب في شكل أمالي جامعية. هذا إضافة إلى نشر كتب أخرى (تأليفًا أو ترجمة) في مجالات أخرى (في الحاسوب وتقنية النانو والتعليم الجامعي).

أهمية اللغة في التفكير والتفاهم وتحديد الهوية

توصل علماء التربية وعلم النفس، والدين، والاجتماع، والتاريخ، والحضارة إلى بعض المسلَّمات في موضوع اللغة، وأولها أن اللغة هي وعاء الفكر وأداة التفكير، فالتفكير واللغة مترابطان، وارتفاع الذكاء يؤدي إلى الرقي اللغوي، كما أن إتقان التعبير اللغوي يؤكد منطقية التفكير ويؤدي إلى تميزه. والمسلَّمة الثانية تفيد بأن اللغة هي وسيلة التفاهم والتواصل الاجتماعي. وثالث المسلَّمات هي أن اللغة عنوان هوية المجتمع. ومسلَّمة رابعة تخص اللغة العربية، وهي أنها لسان الدين الإسلامي، فهي للمسلم لغة كتابه، ولغير المسلم اللغة التي حملتْ وَحَمَتْ له تراثه.

العوامل المساعدة على التدريس باللغة العربية في التعليم العالي

1. اللغة العربية لغة خضعت للتجريب اللغوي والحضاري خلال التاريخ فثبتت بنجاح. فقد رافقت

ازدهار الحضارة العربية الإسلامية وما فيها من تأليف، وترجمة، وإبداع في مجالات الفكر، والتشريع، والإدارة، والسياسة، والعقائد، والعلوم، والفلسفة. فبهرت العالم بكفاءتها، حتى أن مثقفي أوروبا كانوا يسارعون إلى تعلمها.

2. عندما نشأت مؤسسات التعليم العالي في القرنين الأخيرين، استُعملت اللغة العربية للتعليم فيها، في المواد الإنسانية، والمواد العلمية، بما في ذلك العلوم الطبية.
3. في المدارس الثانوية الرسمية العربية، تُدرس المواد الدراسية كافة باللغة العربية.
4. العربية لغة غنية ومطواعة ونامية وولود، وقادرة على التعامل مع متطلبات التعبير المتجددة.
5. وجود عدد من مجامع اللغة العربية، وهي نشطة في وضع المصطلحات العربية المناسبة بإزاء المصطلحات الأجنبية الجديدة.
6. وجود قرار سياسي صادر عن مؤتمر وزراء التربية والتعليم والتخطيط في البلاد العربية سنة 1970 ينص على: "يُوصي المؤتمر بأن تبادر جميع الدول العربية في أسرع وقت ممكن إلى اتخاذ التدابير والوسائل الكفيلة باستعمال اللغة العربية لغة تدريس في جميع مراحل التعليم العام والمهني والجامعي، مع العناية الكافية باللغات الأجنبية".

معوقات التعليم بالعربية في التعليم العالي

1. ضعف مستوى حملة الثانوية العامة باللغة العربية. لكن السؤال الذي يتبادر إلى الذهن: هل الطلاب يجيدون اللغة الإنجليزية؟
2. وجود بعض المتشككين في أهلية اللغة العربية للاستعمال في التدريس الجامعي لاسيما في الطب والهندسة. وهؤلاء هم من الذين لم تتح لهم الفرصة للدراسة باللغة العربية في المرحلة الجامعية، مما يجعلهم يتخوفون منها.

معجم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء

بدأتُ العمل على وضع "معجم مصطلحات علوم هندسة الطيران والفضاء" منذ زمن طويل، وذلك بالاشتراك مع زميلين فاضلين، وبالإضافة إلى رئاسة العمل فقد راجعته وأشرفت على تحريره. وكان الهدف من البدء بعمل المعجم هو أن صناعة المعاجم لابد أن تسبق عملية تعريب العلوم، إذ أنه متى وُضعت المصطلحات العربية الموازية للمصطلحات الأجنبية، تصبح عملية تعريب العلوم ميسَّرة.

وقد زاد عدد المُدخلات فيه عن ثلاثة عشر ألفًا وخمسمئة مصطلح علمي وفني. بعض هذه المصطلحات كلمات منفردة، وبعضها تراكيب مؤلفة من كلمتين أو أكثر. وهو معجمان في معجم، فهو معجم إنجليزي – عربي، ومعجم عربي – إنجليزي. ففي الأول رتبت المصطلحات وفق الأبجدية الإنجليزية، وإزاء كل مصطلح كتب المصطلح العربي، ثم تحت ذلك شرح موجز عن المصطلح يوضحه ويبين استخداماته. أما في الثاني، فقد رتبت المصطلحات حسب الترتيب الهجائي للغة العربية، ووُضع إزاء كل مصطلح ما يوازيه بالإنجليزية دون تكرار الشرح.

ونظرًا لثراء اللغة العربية، فقد تعددت المصطلحات أحيانًا. ومن ناحية ثانية، فإن بعض المصطلحات الإنجليزية لها معانٍ مختلفة بالعربية، وذلك حسب فرع العلم الذي تنتسب إليه، وكل هذا قد ذكر.

وهناك فروق في الكتابة بين الإنجليزية البريطانية والإنجليزية الأمريكية، مثل كلمة طائرة Aeroplane/Airplane، وهذه ورد ذكرها حسب تسلسلها الهجائي في كلتا طريقتي الكتابة.

القواعد الأساسية التي اعتُمدت في ترجمة المعجم

هناك فرق بين كلمتي ترجمة وتعريب، وعمل المعاجم هو ترجمة وتعريب، وهذه هي القواعد الأساسية التي استخدمناها:

1. الترجمة: هي البحث عن كلمة مرادفة للكلمة الإنجليزية، كترجمة كلمة (air) بلفظ (هواء).
2. التعريب: وهو أخذ كلمة غير عربية وقبولها كلمة عربية كما هي أو محوَّرة. ومثال ذلك (طائرة الهليكوبتر helicopter)، وتُسمى أيضًا (طائرة عمودية).
3. الاشتقاق: وهو أخذ لفظ من آخر، مع تناسب بينهما في المعنى. مثل لفظ (عَنَفَة) المشتقة من الفعل (عَنَفَ)، واستُخدمت لترجمة (turbine)، لأنها آلة يضربها الماء أو الغاز أو البخار بعُنفٍ فتدور.
4. النحت: وهو دمج كلمة من كلمتين أو أكثر، مثل (كهرضوئي)، أي (كهربائي ضوئي).
5. القياس: كاستعمال كلمة (طيَّار) بالقياس على صيغة المبالغة (فعَّال) لإفادة كثرة الطيران.
6. التوليد: وهو توليد كلمة جديدة من أصل عربي، مثل كلمة (مشروع) التي ولِّدت من (شرع). فمن معاني (شرع) أخذ يفعل.
7. الارتجال: وهو ابتكار كلمة جديدة لمعنى جديد، مثل (سفينة الفضاء spacecraft).
8. المجاز: مثل استخدام كلمة (ذَرَّة) مقابل كلمة (atom)، وأصلها اللغوي بمعنى (هباءة)، وهي الشيء الصغير المحمول بالهواء.

كتاب تحليل الإجهادات إنشاءات الطائرات

مع توفر عدد من الكتب في مجال تحليل إنشاءات الطائرات وتصميم الطائرات، فإن المكتبة العربية تخلو من هذه الكتب. ولذا وضعتُ أول كتاب في هذا المجال بعنوان: تحليل الإجهادات في إنشاءات الطائرات، الذي جاء في حوالي ستمئة صفحة من المقاس المتوسط. وقد زودته بمسردين للمصطلحات العلمية الواردة فيه، أولهما إنجليزي – عربي، وثانيهما عربي – إنجليزي.

وقد اضطررتُ إلى التحقيق في بعض المصطلحات نظرًا لشيوع كلمات عربية غيرها في بعض البلدان العربية، ومن ذلك كلمة (beam) التي تُترجم في بلاد الشام بكلمة (جائز)، وفي المعجم الوسيط (الخشبة بين حائطين توضع عليها أطراف عوارض



الشكل 1 | واجهة المعجم كما تبدو في صفحة مستعرض الانترنت

السقف، وجمعها أجوزة وجيزان وجوزان وجوائز). وتُترجم في بعض البلدان العربية بكلمة (عتبة). وفي المعجم الوسيط (العتبة هي خشبة الباب التي يوطأ عليها، والخشبة العليا، وكل مرقاة). وكلمة (buckling) التي تُترجم في بلاد الشام إلى كلمة (تحنيب)، وفي المعجم الوسيط (تحنَّبَ تقوَّسَ وانحنى)، وهذا هو حقيقة ما يحصل للعناصر الإنشائية في هذه الظاهرة. وتُترجم في بعض البلدان العربية بكلمة (انبعاج)، وفي المعجم الوسيط (انبعج اتسع وانفرجت جوانبه وانشق)، وهذا ما لا يحصل بالضرورة في هذه الظاهرة.

تعريب مشروعات التخرج

بدأتُ تجربة أظنها ناجحة، وهي الاشتراط على الطلاب الذين يودون أن أشرف على مشروعات تخرجهم أن يكتبوها بالعربية. وهناك شبه إجماع بأنهم استفادوا كثيراً في فهم ما درسوه في مشروعاتهم. إذ لم يعد الطالب يحشو مشروعه بكثير من النصوص المأخوذة بحذافيرها من المراجع الأجنبية، وإنما أصبح يضع في تقرير مشروعه ما استطاع أن يفهمه، أي أصبح يكتب ما يفهم ويفهم ما يكتب.



استهداف، ضبط على الهدف — 9

inherent stability	استقرار متأصل
neutral stability	استقرار متعادل
elastic stability	استقرار مرن
positive stability	استقرار موجب
pendulum stability	استقرار نواسي
triage	استقصاء الضحايا
polarization	استقطاب
plane-polarized	استقطاب مستو
search	استكشاف
fluoroscopy	استكشاف فلوري
bootstrap exploration	استكشاف نهوض
interpolation	استكمال، توليد، استيفاء
Form 700	استمارة 700
bleeding	استنزاف
boundary layer bleed	استنزاف الطبقة الحدّية
cross-bleed	استنزاف مستعرض
cockpit alert	استنفار المقصورة، استنفار القمْرة
ground alert	استنفار أرضي
water recovery	استنقاذ الماء
hard recovery	استنقاذ صعب
signal intelligence	استعلامات الإشارة
factoring	استعمال المُعامل
beat reception	استقبال الضربان، استقبال تضاربي
spaced diversity	استقبال بهوائيات متباعدة
five by five reception	استقبال خمسة على خمسة
cardioid reception	استقبال قلبي
homodyne reception	استقبال متجانس التقارن
stability	استقرار
directional stability	استقرار اتجاهي
speed stability	استقرار السرعة
dynamic stability	استقرار تحريكي
relaxed static stability	استقرار توازني هادئ
spiral stability	استقرار حلزوني
static stability	استقرار ساكن
stick-fixed static stability	استقرار ساكن
negative	
longitudi	



F

بعد ذلك من تيار الهواء.

faceplate —(1) **صفيحة الاستناد، صينية المخرطة**

1. قرص يُركب على محور المخرطة لإمساك وتدوير قطع التشغيل القصيرة
2. صفيحة مماثلة في آلات تركيب أخرى.

faceplate —(2) **صفيحة الوجه**

صفيحة شفافة أمامية في خوذة عالية الضغط.

facility **مرفق، تسهيل، وسيلة**

المباني والمعدات أو الخدمات التي تؤدي إلى تسهيل وتيسير القيام بالمهمات المختلفة.

facility performance category **فئة أداء التسهيل**

انظر categories.

facsimile **إرسال الصور لاسلكيا**

عملية للاتصال عن بُعد، فيها يتم مسح الأصل وتُرسل الإشارات الناتجة بواسطة الهاتف أو الراي لتُستخدم لإنتاج صورة طبق الأصل في الطرف الآخر، وتُختصر بـ fax.

factored field lengths **أطوال المدرج المُعاملة**

F **فارنهايت**

رمز درجة الحرارة حسب الواحدات البريطانية.

FAA **إدارة الطيران الاتحادية**

وذلك في الولايات المتحدة الأمريكية، والتعبير مختصر من Federal Aviation Administration.

fabric **قماش، نسيج**

مثل نسيج ألياف الزجاج أو غيرها في المواد المركّبة، أو النسيج المستخدم كغشاء خارجي في بعض أنواع الطائرات الخفيفة.

fabrication **تصنيع، تركيب**

1. عملية التصنيع لإنتاج الخردوات
2. التركيب بواسطة اللحام للأجزاء المعدنية.

face **وجه، واجهة، سطح، جانب**

1. الطرف المفتوح من مجرى استعداداً للاتصال بالجزء التالي
2. أي من أسطح أرياش الدسار أو الدوار.

face alignment **مُحاذاة الوجه**

المسافة العمودية على الوتر من محور وتر ريشة الدسار أو الدوار إلى الوجه المسطح

وأخيراً كي يدرك الطلاب أهمية اللغة العربية وعظمتها، وأن يعتزوا بتعلمها وإتقانها، يجب أن يكون أساتذتهم ممن يهتمون باللغة العربية ليقوموا بتعميقها في نفوس الطلاب.

على أن العناية باللغة العربية لا تنفي بأي حال من الأحوال تدريس اللغات الأجنبية لغاتٍ ثانية، أو استخدام هذه اللغات في تدريس بعض المواد جزئيًا أو كليًا حسب الحاجات التعليمية التي تُقدَّر بقدرها.

وهذا هو عنوان الشابكة الذي يحوي المعجم:

(http://prod.kau.edu.sa/AeroDic)

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى – العدد 5 – أيلول (سبتمبر) 2015

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag



بوينغ 787
الحلم أم الكابوس؟!

المراقبة الجوية

خواص الغلاف الجوي

الفحوص الفنية للطائرة



خواص الغلاف الجوي



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

سواء تحدثنا عن الآلات الطائرة الأخف من الهواء أو تلك الأثقل من الهواء، فلابد لنا من معرفة خواص الغلاف الجوي Atmosphere الذي يحيط بالكرة الأرضية، والذي تطير عبره الآلات الطائرة بكل أنواعها، بل إنها تعتمد عليه في توليد قوى الرفع التي ترفعها في الجو، وكذلك قوى الدفع. فوقود المحركات يحتاج للهواء كي يشتعل ويولد الطاقة، وكذلك مراوح المحركات تدفع الهواء إلى الخلف لتدفع الطائرة إلى الأمام، أما الآلات الطائرة الأخف من الهواء فتحتاجه كي تطفو في الجو.

وخواص الغلاف الجوي التي أود الحديث عنها هي: الكثافة، والضغط، ودرجة الحرارة.

أما **كثافة الهواء** Air Density فهي ككثافة أي جسم آخر، إنها ببساطة وزن متر مكعب من الهواء. وكثيرًا ما أسأل طلابي المبتدئين عن وزن متر مكعب من الهواء فأحصل على إجابات عجيبة، فمن قائل أنه لا وزن له، إلى قائل بأنه عدة غرامات! وفي الحقيقة فإنه في الظروف القياسية عند سطح البحر ودرجة حرارة 15 مئوية، يزن المتر المكعب من هواء الغلاف الجوي 1.225 كيلوغرامًا. صحيح أن هذا صغير جدًا مقارنة بوزن متر مكعب من الماء (1000 كيلو غرام)، لكنه ليس مهملًا، والكثافة تقل مع الارتفاع كما سنرى بعد قليل.

أما **الضغط الجوي** Pressure فهو وزن الهواء فوق متر مربع من الأرض، أي وزن عمود من الهواء من هذا المتر المربع إلى الفضاء الخارجي. وحيث أنه مع الارتفاع في الجو يقل الهواء فوق هذه المساحة فإن الضغط يقل باستمرار نظرًا لانخفاض كمية الهواء مع الارتفاع.

وأما **درجة الحرارة** Temperature فهي درجة حرارة الغلاف الجوي التي تنخفض تدريجيًا مع الارتفاع في الجو.

الغلاف الجوي القياسي الدولي
The International Standard Atmosphere (ISA)

الغلاف الجوي القياسي الدولي هو أنموذج للغلاف الجوي يوضح كيف يتغير الضغط الجوي وكثافة الهواء ودرجة حرارته ولزوجته مع الارتفاع في طبقات الجو Altitude. وقد أنشأته الهيئة الدولية للمقاييس The International

Organization for Standardization (ISO) ليكون مرجعًا موحدًا لحسابات الطيران في العالم. ويُعطى بشكل جداول تتضمن قيم خواص الغلاف الجوي عند مختلف الارتفاعات في الجو، إضافة إلى بعض المعادلات التي توضح كيف تستنتج القيم. وهناك منظمات أخرى، مثل The International Civil Aviation Organization (ICAO)، تنشر إضافات على الغلاف الجوي القياسي الدولي.

ويُقسم الغلاف الجوي القياسي الدولي إلى طبقات Layers حسب تغير درجات الحرارة في الجو، ويحسب تغير الضغط والكثافة حسب قانون الغازات المثالية Ideal gas law الذي يربط بين قيم الضغط والكثافة ودرجة الحرارة.

في الغلاف الجوي القياسي الدولي، يكون الضغط عند سطح البحر 101.325 باسكال (أو 14.6959 باوند في البوصة المربعة) وتكون درجة الحرارة 15 مئوية (أو 59 فهرنهايت) وتكون الكثافة 1.225 كيلو غرام للمتر المكعب (أو 0.07647 باوند للقدم المكعب).

طبقات الجو

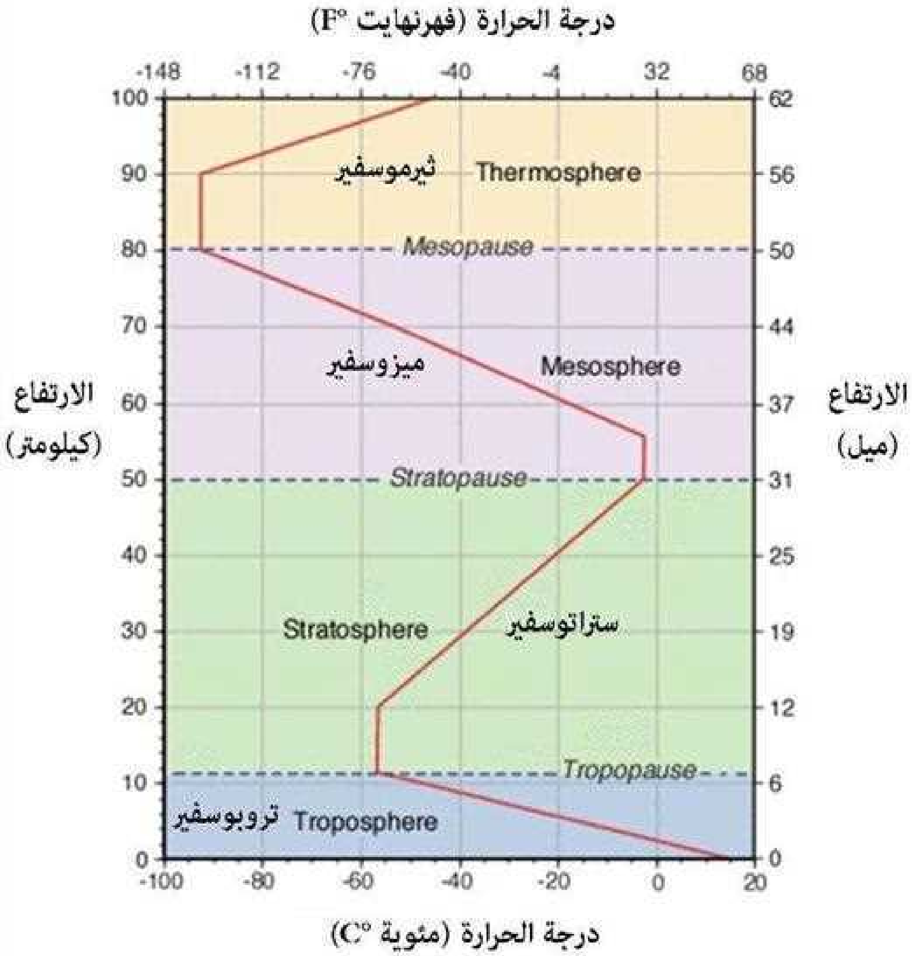
بين سطح البحر وارتفاع 11 كيلومترًا (أو 36.089 قدمًا) تُسمى طبقة الهواء بطبقة التروپوسْفير Troposphere، وفيها تنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع بمعدل 6.5 درجة مئوية لكل كيلومتر ارتفاع، وتتميز بوجود الرطوبة وحركات الهواء الرأسية والتقلبات الجوية. وعند الارتفاع 11 كيـلومترًا، تكون درجة الحـرارة قد انخفضت إلى -56.5 مئوية تحت الصفر (أو–69.7 فهرنهايت)، ويكون الضغط قد انخفض إلى 22.632 باسكال، والكثافة إلى 0.3639 كيلوغرامًا للمتر المكعب.

بين ارتفاع 11 كيلومترًا و20 كيلومترًا تبقى درجة الحرارة ثابتة، وتسمى هذه الطبقة بطبقة الركود أو طبقة التروبوبوز Tropopause، ثم تبدأ بعدها طبقة الستراتوسفير Stratosphere، وفيها تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع بمعدلات منخفضة إلى أن تصل إلى 2.5 مئوية تحت الصفر عند ارتفاع 47 كيلومترًا، حيث تبدأ طبقة الستراتوبوز Stratopause التي تثبت فيها درجة الحرارة. وتستمر هذه الطبقة إلى ارتفاع 51 كيلومترًا، وتبدأ بعدها طبقة الميزوسفير Mesosphere التي تبدأ فيها درجة الحرارة بالانخفاض من جديد إلى أن تصل إلى 86.25 مئوية تحت الصفر وتثبت إلى ارتفاع 90 كيلومترًا، لتبدأ بعدها طبقة الغلاف الحراري أو الثرموسفير Thermosphere التي تستمر إلى الفضاء الخارجي، وفيها تبدأ درجة الحرارة بالزيادة تدريجيًا.

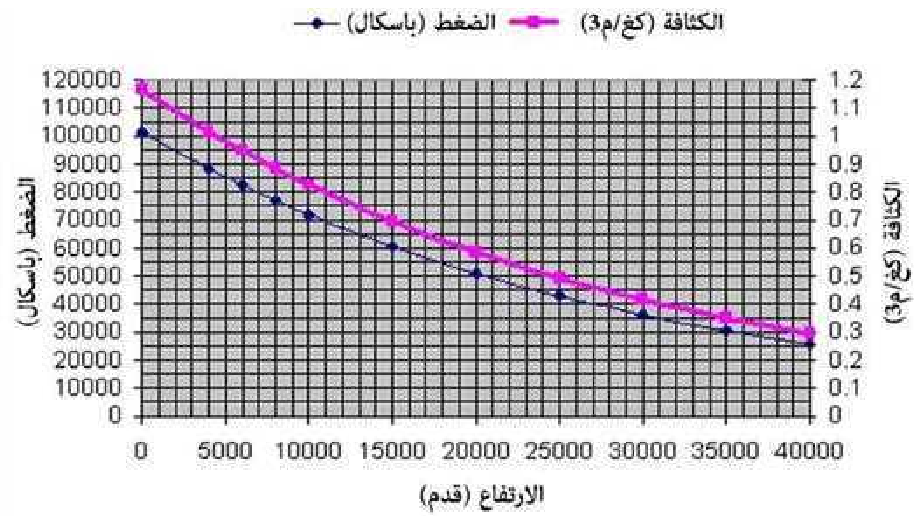
ويوضح الشكل (1) تغير درجة حرارة الغلاف الجوي القياسي الدولي مع الارتفاع. أما الشكل (2) فيوضح تغير الضغط الجوي وكثافة الهواء مع الارتفاع.

ماذا نفعل عندما لا تنطبق الظروف القياسية على الجو؟

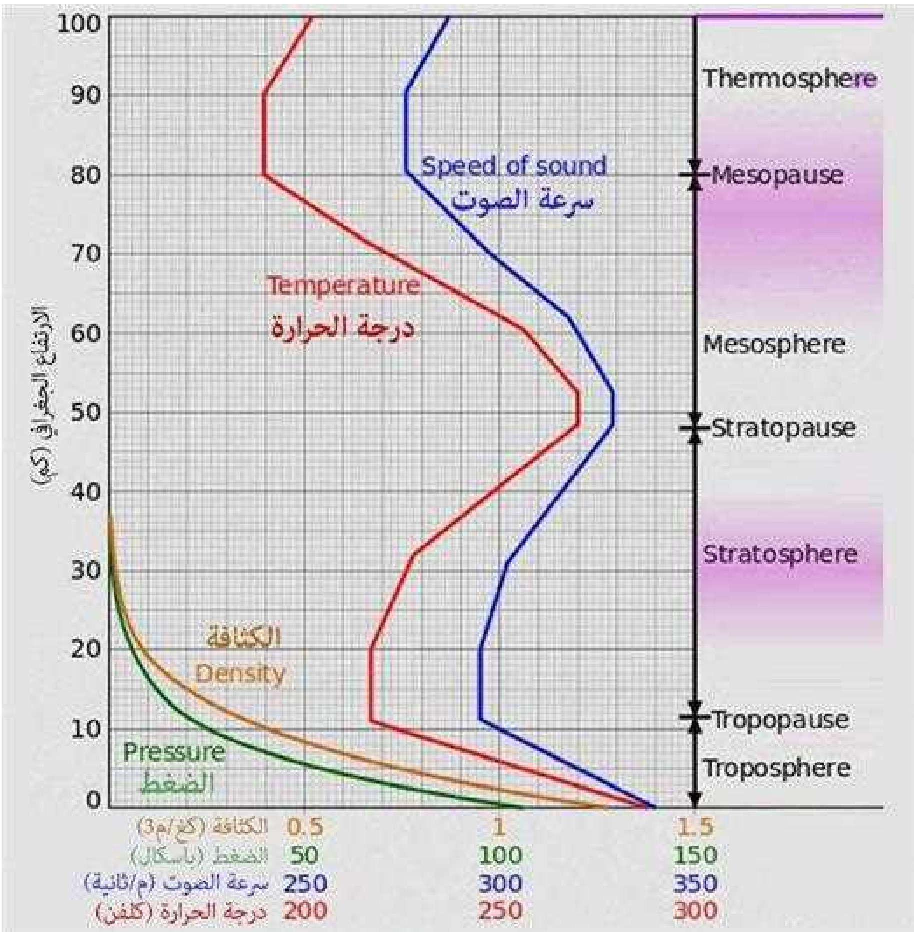
كما ذُكر آنفًا، فإن الغلاف الجوي القياسي الدولي هو أنموذج للغلاف الجوي أنشئ ليكون مرجعًا موحدًا لحسابات الطيران في العالم، وذلك من أجل مقارنة أداء الطائرات ومحركاتها مع بعضها بعضًا عند مختلف الارتفاعات. لكن هل تنطبق مواصفاته على مواصفات الغلاف الجوي في كل مكان على سطح الأرض؟ وهل تنطبق على مواصفات الغلاف الجوي كل يوم في مكان محدد؟ لا سيما وأننا نعلم أن درجات الحرارة تختلف من يوم لآخر على مدار العام، كما تختلف من مدينة إلى أخرى، فكيف يستطيع المهندس أن يستخدم



الشكل 1 | تغير درجة حرارة الغلاف الجوي القياسي الدولي مع الارتفاع



الشكل 2 | تغير الضغط الجوي وكثافة الهواء مع الارتفاع



الشكل 3 | تغير سرعة الصوت ودرجة حرارة الغلاف الجوي والضغط والكثافة مع الارتفاع

معطيات الغلاف الجوي القياسي الدولي؟ كذلك فإن الضغط الجوي يتغير من يوم لآخر في مكان محدد حسب وجود الرياح وسرعاتها. وبذلك فإن على المهندس أن يراعي الظروف غير القياسية في حساباته. ومن أهم الحسابات التي تتأثر بالطقس، المسافة التي تدرجها الطائرة على الأرض للإقلاع. ففي المطارات الحارة المرتفعة عن سطح البحر، حيث يقل الضغط والكثافة، يتطلب الأمر مراعاة الظروف غير القياسية في حساب طول المدرج المطلوب للطائرة كي تقلع.

ما هو تأثير انخفاض خواص الغلاف الجوي مع الارتفاع؟

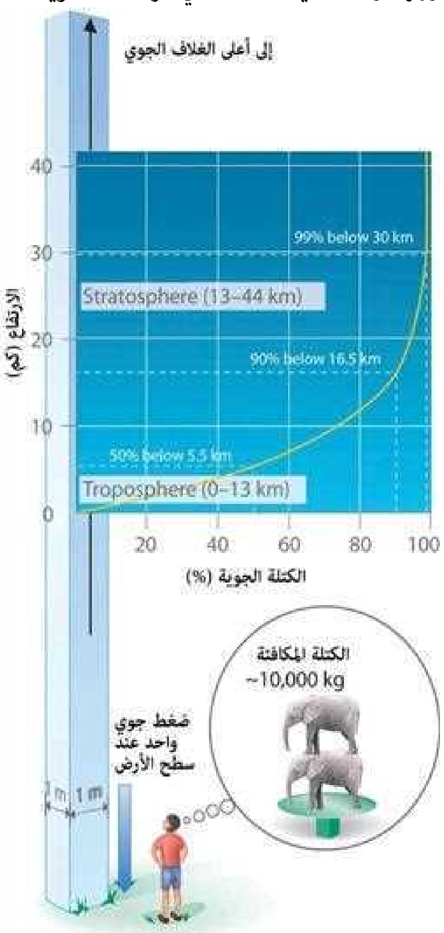
ولما كان الارتفاع في طبقات الجو يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة وضغط الهواء وكثافته، فإن هذه الشروط غير مواتية للإنسان. ومن هنا فإن التأثير الأول فيما يتعلق بالمسافر في الطائرة (وحتى طاقم الطائرة) هو الشعور بعدم الارتياح، بل إن بعض الناس تسبب لهم أمراضًا لا سيما الذين يعانون من ارتفاع ضغط الدم. ومن هنا فإن الطائرات التي تطير على ارتفاع أكثر من 12500-14000 قدم (3.8-4.3 كيلومتر) يجب أن تكون مكيّفة الضغط، وهذا ما يُسمى بالإنجليزية Cabin Pressurization، ويكون ذلك بضغط الهواء داخل الطائرة لجعل جوها من الداخل مريحًا وآمنًا للركاب والطاقم. وفي العادة يؤخذ الهواء المضغوط من الضاغط Compressor في المحركات العنفية الغازية Gas Turbine Engines.

أما من ناحية الطيران نفسه، فإن الطيران في هواء غير كثيف (منخفض الكثافة) يعني انخفاض مقاومة الهواء للطائرة، مما يعني انخفاض كمية الوقود التي نحتاجها لدفع الطائرة إلى الأمام، لكن في الوقت نفسه فإن محركات الطائرة التي تحتاج الهواء لتحرق الوقود، تنخفض طاقتها مع الارتفاع نظرًا لانخفاض كمية الهواء الداخلة إلى المحرك. لكن هذا الانخفاض في كمية الهواء يرافقه أيضًا انخفاض في كمية الوقود، مما يعني الإبقاء على نسبة الوقود إلى الهواء ثابتة.

والطيران بعيدًا عن الأرض يساعد في تفادي آثار الطقس، مثل العواصف الرعدية، والغيوم الممطرة، والاضطراب في الهواء. وهذه العوامل مجتمعة تجعل الطيران على ارتفاعات معينة أكفأ وأكثر أمنًا من الطيران على ارتفاعات منخفضة.

وقد يتساءل بعضنا: مادام الطيران على ارتفاع أعلى هو أفضل، فلماذا لا ترتفع الطائرة أكثر؟ والجواب له عدة جوانب. إذ أن سرعة الصوت مرتبطة ارتباطًا مباشرًا بدرجة الحرارة، وفي الشكل (3) يتضح أن تغير سرعة الصوت مع الارتفاع مماثل تمامًا لتغير درجة الحرارة مع الارتفاع. ولما كانت معظم الطائرات تطير بسرعة أقل من سرعة الصوت، فإنه لابد من الإبقاء على سرعة الطائرة أقل من سرعة الصوت. والنسبة بين سرعة الطائرة وسرعة الصوت تُسمى رقم ماخ Mach Number، وهذا الرقم لا يصل إلى أعلى من 0.9، ومعظم طائرات الركاب الكبيرة تطير على رقم ماخ بين 0.8-0.85. وبذلك فإن الطائرة لا تستطيع أن ترتفع أكثر من حد معين لأنها لن تستطيع زيادة سرعتها لتوليد قوى رفع أعلى.

ولكل طائرة ارتفاع أقصى أو سقف Ceiling لا تستطيع أن تتعداه، بل إنها تطير على ارتفاع أقل منه، ويُسمى الارتفاع الأقصى للخدمة أو سقف الخدمة Service Ceiling، وهو الارتفاع الذي يكون عنده معدل الصعود مساويًا لـ 0.5 متر في الثانية (أو 100 قدم في الدقيقة). وفي الحقيقة فإن الطائرة يخف وزنها مع مرور زمن الرحلة نظرًا لاحتراق الوقود، وبذلك فإن الطائرة يمكنها زيادة ارتفاعها على طول الرحلة، حيث لكل مرحلة من مراحل الرحلة ارتفاع أمثل للطائرة يجعلها تستهلك القيمة الدنيا من الوقود في تلك المرحلة، فتستطيع أن تطير أسرع عندما تزيد من ارتفاعها مع نقصان وزنها، وهذا ما يحصل عادة في الرحلات الطويلة ■



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الأولى – العدد 6 – تشرين الثاني (نوفمبر) 2015

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag





البالونات والمناطيد

أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

تعريفات

البالونات (balloons) والمناطيد (airships) هي من الطائرات (aircraft) أو الآلات الطائرة (flying machines) الأخف من الهواء (lighter-than-air)، في مقابل الطائرات الأخرى الأثقل من الهواء (heavier than air).

وهي تُحمل بالهواء الجوي، وليس كما يُقال أحيانًا بأنها محمولة بالغاز الذي فيها، وإنما محمولة بالهواء الذي يزيحه هذا الغاز. وتُسمى الطائرات الأخف من الهواء بمركبات الهواء الساكن (Aerostats).

والبالونات منها البالونات الحرة (free balloon)، وهي التي تُستخدم في الانتقال من مكان لآخر، وفي الغالب تنتقل بالاستفادة من وجود الرياح التي تدفعها. وفي سنة 1999 استطاع بالون أن يدور حول الأرض بلا توقف لمدة عشرين يومًا، حيث انطلق من سويسرا وحطّ في مصر بعد أن قطع حوالي 41 ألف كيلومتر. أما أعلى ارتفاع وصله بالون مأهول فهو 41.5 كيلومتر (حوالي 136 ألف قدم) وكان ذلك سنة 2014، في حين وصل بالون غير مأهول إلى ارتفاع 53 كيلومترًا (حوالي 174 ألف قدم) في سنة 2002، وكان حجمه 60 ألف متر مكعب، وهذا الارتفاع هو أعلى ارتفاع وصلته طائرة ضمن الغلاف الجوي.

وهناك البالونات المقيدة (Captive or tethered balloon) وهي التي تربط بالأرض بالحبال أو الكابلات فلا تنتقل من مكان إلى آخر. ونظرًا لأن البالون المقيد يعاني ما يعانيه عند وجود الرياح، فقد استُخدم نوع آخر من البالونات المقيدة باسم الكايتون (Kytoon)، وهذا الاسم مشتق من كلمتي (Kite+Balloon)، حيث يجمع بين الطائرة المقيدة (Kite) والبالون. والطائرة المقيدة يُسمونها بالطائرة الورقية اصطلاحًا لأنه يكثر صنعها للأطفال من الورق، وهي طائرة أثقل من الهواء، تعتمد في الرفع على مبادئ التحريك الهوائي (الإيروديناميكس) Aerodynamics، أي لها أجنحة. وهكذا فإن الكايتون يرتفع في الجو حسب مبدأ الطفو، لكنه يقاوم الرياح بسبب شكله كطائرة. وعمومًا يُستخدم البالون المقيد والكايتون في المراقبة الجوية لمنطقة معينة، ولقياسات الأرصاد، ولرفع الدعايات، وللتصوير الجوي، ولرفع هوائيات أجهزة الإرسال والاستقبال المختلفة، ولحمل طواحين الرياح، ولإخافة الطيور من الاقتراب من المحاصيل، وللنزهة، ويمكن أن تُستخدم لإطلاق النار وإعاقة سير الطائرات المعادية.

أما المنطاد أو سفينة الهواء فهو نوع من البالونات، لكنه قابل للتوجيه، ولذا فقد كان اسمه في البداية (Dirigible balloons). هناك أيضًا المنطاد المقيد (Blimp) كما هو الحال في البالون المقيد حيث يُستخدم للمراقبة، وهذا يقترب كثيرًا من الكايتون. والمناطيد منها الصلبة المصنوعة من

هيكل صلب مغطى بالغلاف المرن، ومنها نصف الصلبة التي لها هيكل بسيط، ولكنها تأخذ شكلها من ضغط الغاز الذي فيها، ومنها المرنة التي تأخذ شكلها كليًا من ضغط الغاز. وللمنطاد عربة أو جندول (Gondola) أسفل الغلاف المرن ومعلقة بالهيكل الداخلي، وهي لحمل الطاقم والركاب وغيرها من الأحمال، وبها تتعلق عجلات الهبوط، وقد يوجد عربة أخرى للركاب داخل الغلاف. أما المحركات ومراوح الدفع، فقد تتعلق بالعربة أو يكون لها حجرات خاصة (nacelles). يُشار هنا أيضًا إلى أنه قد تُستخدم كلمة زيبلين (Zeppelin) أحيانًا للدلالة على المنطاد، وذلك نسبة إلى اسم الشركة الألمانية التي بدأت بإنتاج المناطيد في بداية القرن العشرين.

هل انتهت مهمة المناطيد؟ أم مازال لها استخدام؟ في الحقيقة مازالت الأبحاث تتتابع على المناطيد، ومازالت الشركات تصمم أنواعًا جديدة وتنتجها. ولها استخدامات عسكرية ومدنية، ولعل من أهمها إمكانية توصيل أحمال كبيرة إلى مواقع بعينها. ولعل من مزاياها انخفاض كمية الوقود المطلوبة فيها، حيث لا تتطلب وقودًا للإقلاع والارتفاع في الجو، إنما تحتاج الوقود لعملية الدفع، أي الحركة للأمام. ومن مزاياها أيضًا الطيران على ارتفاع منخفض وبسرعات منخفضة مما يجعلها مناسبة جدًا للمراقبة الجوية وللتصوير الجوي مثلًا. وهناك مناطيد كبيرة جدًا، فهناك مثلًا منطاد بلغ طوله 245 مترًا، وقطره 41 مترًا، في حين أن طائرة الجامبو B747 طولها الكلي أقل من 77 مترًا، وارتفاعها الكلي أقل من 20 مترًا، الشكل 1.

من التاريخ

استُخدمت البالونات والمناطيد قبل ظهور الطائرات بأكثر من مئة سنة، حيث صعد البالون الفرنسي مونغولفير (Montgolfière) في الجو، وهو بالون مملوء بالهواء الساخن، في حفل من الناس في العام 1783م، ولم يكن يحمل بشرًا. ثم تكررت التجربة وأرسلت بعض الحيوانات إلى ارتفاع خمسمئة متر، وعاد البالون إلى الأرض دون أن تصاب الحيوانات بأذى. وفي العام نفسه، طار فرنسيان في البالون مونغولفير الذي ربط بالأرض بحبل وارتفع بهما ستة وعشرين مترًا، ثم عادا وطارا بالبالون دون ربطه بحبل، وبقيا في الجو خمسًا وعشرين دقيقة. وفي السنة نفسها، صنع فرنسي بالونًا مملوءًا بالهيدروجين وأطلقه من باريس بلا حمولة، فطار مسافة خمسة وعشرين كيلو مترًا. وفي العام نفسه طار فرنسيان آخران أكثر من مرة في بالون مملوء بالهيدروجين. وفي المرة الثانية ارتفعا إلى 2700 متر في الجو، ورحلا من باريس إلى مدينة أخرى على بعد 43 كيلومترًا. وفي العام التالي طار فرنسيان آخران من باريس مسافة 186 كيلومترًا داخل بالون. وأضاف فرنسي مروحة إلى البالون، وكانت تُدار باليد، ووصل غيره إلى ارتفاع أربعة آلاف متر في الجو في ذلك العام.

وقد سجل العام 1785م أول حادثة، حيث تحطم بالون في محاولة لقطع القناة البريطانية بين فرنسا وبريطانيا، ومات الفرنسيان اللذان كانا فيه. لكن في العام نفسه نجح شخصان آخران في عبور القناة في بالون. وشهد العقد الأخير من القرن الثامن عشر تأسيس أول شركة تابعة للجيش الفرنسي تستخدم البالونات للتجسس، وتجسست على الجيش النمساوي في إحدى المعارك. وشهد أيضًا نزول أول مظلي فرنسي من بالون على ارتفاع حوالي ألف متر.

في القرن التاسع عشر تحققت أرقام قياسية جديدة في عالم البالونات، فارتفع بالون في ألمانيا في العام 1803م إلى 7280 مترًا، وطار آخر في فرنسا لمسافة 395 كيلومترًا. وظهر كتاب ضخم عن علم الطيران بالبالونات، واستطاع أحدهم أن يؤمّن دفعًا لبالون مملوء بالهيدروجين بتركيب أجنحة تخفق كأجنحة الطيور. وفي العام 1836م، طار بريطاني من لندن في بالون مملوء بغاز الفحم، ووصل إلى ويلبرج في ألمانيا قاطعًا مسافة 768 كيلومترًا. وشهد العام 1849م استخدام النمسا البالونات لقصف مدينة البندقية جوًا. واستخدم مهندس إنجليزي محركًا بخاريًا لدفع منطاد في العام 1852م.

وفي العام 1861م، شُكلت كتيبة بالونات في الجيش الأمريكي للمراقبة ومساعدة المدفعية، وقد استُخدمت البالونات في الحرب الأهلية الأمريكية. وفي العام 1870م، استخدمت البالونات لنقل البريد والناس من داخل باريس المحاصَرة خلال الحرب الفرنسية البروسية. وفي العام 1872م، حقق مهندس فرنسي سرعة 11 كيلومتر في الساعة في منطاد مقاد بواسطة عضلاته. واستخدم مهندس ألماني محرك احتراق داخلي لدفع المنطاد. وفي العام 1883م، استُخدمت المحركات الكهربائية في المناطيد. وفي العام 1884م، طار أول منطاد مع تحكم كامل، وهبط بسلام، وكان تابعًا للجيش الفرنسي. وفي العام 1897م، طار أول منطاد مصنوع من الألمنيوم، لكنه انكسر عند الهبوط.

كيف تطير البالونات والمناطيد

تعتمد الطائرات الأخف من الهواء في علوّها في الجو على مبدأ أرخميدس (Archimedes' Principle) مع إقرارنا بأن أي قانون أو مبدأ ننسبه للبشر إنما هو من وضع رب البشر، لكننا ننسبه إلى من اكتشفه أول مرة. فالخالق جلّ وعلا (وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ)، لكنه لم يعطنا الأمور جاهزة، وإنما تركها لنا لنكتشفها بالعمل وبذل الجهد.


بالون حر


بالون مقيد


بالون بالهواء الساخن


البالون الذي دار حول العالم

ومبدأ أرخميدس، الذي تعلمناه في المدارس، ينص على أن أي جسم يُغمر في مائع (سائل أو غازي) فإن المائع يؤثر عليه بقوة للأعلى تساوي وزن المائع المُزاح بواسطة هذا الجسم المغمور وتعاكس وزنه الذي هو للأسفل، الشكل 2.

ومن هنا فإن البواخر ذات الوزن الهائل تطفو على وجه الماء لوجود قوة تدفعها للأعلى، الشكل (2). ويختلف وضع الباخرة بين ماء البحر ومياه الأنهار، ففي الحالة الأولى ترتفع الباخرة أعلى من الحالة الثانية، لأن كثافة ماء البحر المالح أعلى من كثافة الماء العذب، فيكون حجم الماء المزاح المطلوب أقل منه في حالة مياه الأنهار العذبة. وعندما تفرغ الباخرة حمولتها يخف وزنها وترتفع إلى أعلى، وبالعكس، عندما تُحمّل يزيد وزنها وتنغمر أكثر في الماء. أما عندما يتسرب الماء إلى داخلها فإنها تغرق لأن وزنها يزيد بمقدار كبير ولا تستطيع قوة الطفو التغلب على الوزن.

عندما يكون وزن الجسم المغمور في الماء أكبر من قوة الطفو فإن الجسم لا يطفو بل ينزل إلى الأسفل، وحتى في هذه الحالة فإن الجسم المغمور لو وُزِنَ وهو في الماء بتعليقه بميزان فإن الميزان يشير إلى وزن أقل من وزنه عندما يكون في الهواء، وذلك بسبب وجود قوة الطفو للأعلى التي لم تستطع أن تتغلب على الوزن، لكنها تبقى موجودة، وتساوي وزن الماء المُزاح.

ومن هذا الحديث عن الباخرة نفهم كيف تطفو البالونات والمناطيد في الهواء. فغلاف البالون أو المنطاد يزيح كمية من الهواء، وبذلك تتولد قوة للأعلى تساوي وزن الهواء المُزاح. فإذا كانت هذه القوة مساوية لوزن البالون أو المنطاد بكل ما فيه، فإن البالون أو المنطاد يطفو في الهواء. وإذا كانت هذه القوة أكبر من الوزن، فالبالون أو المنطاد يعلو أكثر فأكثر في الجو، وإذا زاد الوزن عن هذه القوة فإن البالون أو المنطاد ينزل إلى أسفل.

وكما ذكرت في مقالتي السابقة عن خواص الغلاف الجوي فإنه في الظروف القياسية فيزن المتر المكعب من هواء الغلاف الجوي 1.225 كيلوغرامًا، وهو يقل مع الارتفاع في الجو. أي أن أقصى قوة طفو يمكن الحصول عليها من إزاحة متر مكعب من الهواء هي بهذا المقدار. ولكي يستطيع الهواء أن يترك البالون أو المنطاد يطفو، ينبغي أن يكون حجم البالون أو المنطاد كبيرًا جدًا ليزيح كمية ضخمة من الهواء لتوليد قوة طفو كبيرة تعادل وزن البالون أو المنطاد. وربما لهذا السبب نجد البالونات والمناطيد ضخمة جدًا، حيث يصل حجمها إلى مئات الآلاف من الأمتار المكعبة.

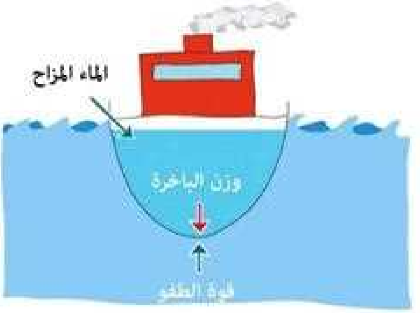
أما وزن البالون أو المنطاد فينبغي أن يكون أقل ما يمكن، وهذا يعني أنه ينبغي أن يُصنع من أخف المواد. لكن في الوقت نفسه، ينبغي أن تكون مادة الصنع متينة ومتكيفة مع مختلف الظروف البيئية للطيران فوق المحيطات أو الصحاري أو القطبين. فيجب أن تكون المادة مقاومة للتمزق والانثقاب والتفسخ الذي تسببه الأشعة فوق البنفسجية، فضلًا عن ضرورة إنتاجها بكلفة منخفضة. ومن طرق تخفيف وزن البالون أن يملأ بغاز خفيف. فمن الناحية المثالية، يُفضل أن يكون داخل غلاف البالون أو المنطاد فراغ، أي لا يوجد شيء. لكن من الناحية العملية، فإن هذا الخيار غير مناسب على الإطلاق، وذلك لأن الضغط الجوي الخارجي على غلاف البالون أو المنطاد سوف يجعل الغلاف ينضغط إلى الداخل أو ينهار، ولتفادي ذلك يجب أن يُصنع من مادة ذات مقاومة عالية. لكن مثل هذه المادة ستجعل وزن البالون أو المنطاد مرتفعًا جدًا، مما يعني عدم ملاءمتها. ولهذا السبب، يُملأ غلاف البالون أو المنطاد بغاز خفيف ليحافظ على شكل الغلاف من ناحية، ومن ناحية أخرى ليعاكس ضغطه في الداخل ضغط الهواء الجوي في الخارج. وفي الوقت نفسه، فإن الغاز الخفيف يسهم في تخفيف وزن البالون أو المنطاد، مما يقلل من مقدار قوة الطفو المطلوبة لرفعه في الجو. لكن وجود الغاز داخل غلاف البالون أو المنطاد يتطلب أن يكون الغلاف كتيمًا ولا يسمح بتسرب الغاز إلى الخارج أو تسرب الهواء إلى الداخل. ومن ناحية أخرى فإن الغاز المستخدَم في ملء غلاف البالون يجب أن يكون مأمونًا وغير قابل للاشتعال. وهذا يضعنا أمام اختيار شبه وحيد، وهو الهيليوم، فهو غاز خفيف خامل غير قابل للاشتعال، علمًا بأن غاز الهيدروجين استُخدم سابقًا، لكنه استُبعد بسبب قابليته للاشتعال، مع أنه أخف من الهيليوم بمقدار النصف، وتكلفته منخفضة أيضًا، وبذلك يبرر استخدام الهيليوم مع أنه سيقلل من الوزن المفيد. وقد استُخدم الهواء الساخن في بعض البالونات وبعض المناطيد.

وكما رأينا في خواص الغلاف الجوي، فإن كثافة الهواء تقل مع الارتفاع، أي أن وزن المتر المكعب من الهواء يقل مع الارتفاع، وبذلك فإن وزن الهواء المُزاح يقل، مما يعني أن قوة الطفو تنخفض مع الارتفاع في طبقات الجو. لكن عند الارتفاعات البسيطة، ربما يكون التأثير صغيرًا، أما عندما يزداد الارتفاع فلا بد من الإقلال من وزن البالون أو المنطاد ليتمكن من الصعود. ويكون ذلك بالتخلص من بعض الأثقال التي تُحمل لهذا الغرض. لكن ماذا نفعل إذا أردنا النزول؟ في هذه الحالة لا بد من الإقلال من قوة الطفو، أي من وزن الهواء المُزاح، ويكون هذا بالتخلص من بعض الغاز وإحلال الهواء الجوي مكانه. وواضح أن عملية التخلص من الأثقال لزيادة الارتفاع أو التخلص من الغاز للنزول يجب أن تكون بحكمة لأن ما يُتخلص منه، لا يمكن أن يُعاد إلا بعد أن ترجع الطائرة إلى الأرض.

ولأن ضغط الهواء الخارجي يقل أيضًا مع الارتفاع، فإن الغاز على الأرض لا يملأ كامل الغلاف، بل يكون معه شيء من الهواء، بحيث أنه مع الارتفاع في طبقات الجو ونقصان الضغط الجوي يُنفس الهواء ويصبح ضغط الغاز في الداخل مساويًا لضغط الهواء في الخارج ويحصل التوازن ■



الشكل 1 | مقارنة البالون الجامبو مع طائرات الجامبو



الشكل 2 | مبدأ طفو الباخرة









ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الثانية – العدد 7 – كانون الثاني (يناير) 2016
www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag



أشهر طائرات الهليكوبتر

الطباعة ثلاثية البُعد

كيف تطير الهليكوبتر

الإنترنت على متن الطائرات



سرعة الطائرة

أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران



الحديث عن سرعة الطائرة متشعب، وهذه المقالة تحاول اختصار الموضوع على قدر ما تسمح به المساحة المتاحة للمقالة.

وحدة قياس السرعة

السرعة هي مقدار المسافة التي تقطعها أي مَركبة خلال وحدة الزمن. وإذا كانت سرعة المَركبات الأرضية تُقاس بالكيلومتر في الساعة أو بالميل (العادي أو القانوني) في الساعة (الذي يساوي 1.609 كيلومتر في الساعة)، فإن سرعة المَركبات الطائرة تُقاس بالعقدة (knot)، وهي ميل ملاحي (nautical mile) في الساعة (الذي يساوي 1.852 كيلومتر في الساعة). وبعضهم يسميه الميل البحري، على اعتبار أن الملاحة في البحر أسبق بكثير من الملاحة في الجو.

مبدأ قياس السرعة الهوائية

في المَركبات التي تمشي على الأرض، هناك سلك يصل بين مُبيّن السرعة أو عدّاد السرعة الموضوع أمام السائق وبين علبة المسننات أو صندوق السرعات (Gear Box) المرتبط بحركة عجلات المَركبة. وهناك أجهزة أخرى في الطريق لا مجال للتفصيل فيها هنا. أما في المَركبات الطائرة فهذا الأسلوب لا ينفع، حيث لا يوجد عجلات تمشي على الأرض لنقيس مدى تقدمها في وحدة الزمن.

في الطائرات تقاس السرعة بواسطة أنبوب بيتو (Pitot tube). وهو أنبوب رفيع بارز ومتجه إلى الأمام ومعرَّض إلى تيار الهواء الذي تتحرك فيه الطائرة (الشكل 1)، ويدخل فيه الهواء من مقدمته ليقيس ما يُسمى الضغط الكلي أو الضغط الراكد للهواء (Total or ram air pressure or stagnation pressure)، في حين أن هناك ثقبًا صغيرًا جدًا في طرفه يقيس الضغط الساكن للهواء (Static air pressure). وأحيانًا قد يكون ثقب الضغط الساكن في بدن الطائرة نفسها. والفرق بين هذين الضغطين هو الضغط الحركي (Dynamic air pressure)، أي أن مجموع الضغط الساكن p والضغط الحركي q يساوي الضغط الكلي P، ومن الضغط الحركي تُحسب سرعة الطائرة. وفي الطائرات الكبيرة يُستخدَم أنبوبان على طرفي مقدمة الطائرة، وتؤخذ القيمة الوسطية الناتجة عنهما. ومن الضروري أن يُنتبه إلى مدخل هذا الأنبوب، فلا يُغلق بالجليد أو بالحشرات، لأن هذا سيعطل عملية قياس السرعة.

والسرعة الناتجة من عملية القياس هذه هي السرعة النسبية بين حركة الطائرة وحركة الهواء المحيط بها، ولذا تُسمى السرعة الهوائية (Airspeed).

لكن ما علاقة الضغط الحركي بالسرعة؟ إن الضغط الحركي هو نصف كثافة الهواء ρ مضروبًا بمربع السرعة الهوائية V^2:

$$q=\tfrac{1}{2}\,\rho\,V^2$$

فمن معرفة الضغط الحركي من أنبوب بيتو يمكن الحصول على السرعة من هذه المعادلة.

السرعة الهوائية المُبَيَّنة

السرعة الهوائية المُبَيَّنة (Indicated airspeed, IAS) أو المقروءة، هي السرعة التي تُقرأ على مُبَيِّن السرعة الهوائية (airspeed indicator) في لوحة العدادات أمام الطيار. وهذه السرعة، كما سبق إيضاحه، تمثل الفرق بين الضغطين الكلي والساكن، معبر عنها بوحدة السرعة، وهي العقدة غالبًا، وقد تكون بالميل العادي في الساعة أو بالكيلومتر في الساعة في بعض الطائرات الصغيرة، أو الطائرات الروسية وطائرات الدول التي كانت تابعة للاتحاد السوفيتي السابق.

السرعة الهوائية المُعايَرة

السرعة الهوائية المُعايَرة (Calibrated airspeed, CAS)، هي السرعة الهوائية المُبَيَّنة أو المقروءة بعد تصحيحها من أخطاء جهاز القياس، وخطأ مكان ثقب الضغط الساكن، وأخطاء التركيب. وهذه الأخطاء تكون معروفة أو مُعايَرة لكل نوع من أنواع الطائرات، ولذا سميت هذه السرعة بالسرعة المُعايَرة. وفي بعض المراجع تُسمى السرعة الهوائية المصحّحة (rectified airspeed). وتصحح باستخدام جدول أو رسم بياني خاص بكل طائرة، أي يختلف التصحيح من طائرة لأخرى.

السرعة الهوائية المكافئة

السرعة الهوائية المكافئة (Equivalent airspeed, EAS) هي السرعة الهوائية المُعايَرة بعد تصحيحها حسب تأثير انضغاطية الهواء (Compressibility effects). وهذا التصحيح مهم للطيران بسرعات عالية أو على ارتفاعات عالية، أما في الارتفاعات الأقل والطيران بسرعات منخفضة فمهمل. وبذلك تكون السرعة الهوائية المكافئة تساوي السرعة الهوائية المُعايَرة، وقريبة من السرعة الهوائية المُبَيَّنة.

لكن يبقى السؤال المهم، لماذا سُمّيت هذه السرعة بالمكافئة؟ بالعودة إلى المعادلة السابقة التي تربط بين الضغط الحركي والسرعة الهوائية يتبين وجود كثافة الهواء في المعادلة. فأي كثافة للهواء نستخدم ونحن نعلم أن كثافة الهواء تنخفض مع الارتفاع في طبقات الجو؟ في الحقيقة فإن مُبَيِّن السرعة الهوائية لا يمكنه أن يعرف كثافة الهواء، وبذلك فإن كثافة الهواء عند سطح البحر تُستخدم في عملية تحويل الضغط الحركي لتبيان السرعة الهوائية، مما ينتج عنه ما أسميناه بالسرعة الهوائية المكافئة، أي هي السرعة الهوائية المحسوبة باستخدام كثافة الهواء عند سطح البحر عوضًا عن كثافة الهواء عند الارتفاع الذي تطير عنده الطائرة، أو هي السرعة الهوائية عند سطح البحر. وجدير بالذكر أن تصحيح انضغاطية الهواء يكون باستخدام منحنيات بيانية مع معرفة السرعة المُعايَرة وارتفاع الطائرة، ولا علاقة لهذا التصحيح بنوع الطائرة لأنه متعلق بخواص الهواء عند مختلف الارتفاعات والسرعات.

السرعة الهوائية الحقيقية

السرعة الهوائية الحقيقية (True airspeed, TAS) هي السرعة الهوائية الحقيقية للطائرة، أي السرعة النسبية بين الطائرة والهواء المحيط بها آنيًا، والتي على الطيار أن يحسبها، وليست مُبَيَّنة أمامه على مُبَيِّن السرعة الهوائية. وتحسب من معادلة الضغط الحركي المذكورة أعلاه كما يلي:

من تعريف السرعتين المكافئة والحقيقية يمكن أن نكتب:

$$q=\tfrac{1}{2}\,\rho_o\,Ve^2 = \tfrac{1}{2}\,\rho\,V^2$$

حيث ρ_o وρ كثافة الهواء عند سطح البحر وعند ارتفاع الطيران على التوالي، في حين تمثل V_e وV السرعة الهوائية المكافئة والسرعة الهوائية الحقيقة على التوالي أيضًا.

وبذلك تكون السرعة الحقيقية:

$$— \qquad = \qquad —$$

وحيث أن ρ_o دومًا أكبر من ρ في طبقات الجو فإن السرعة الهوائية الحقيقية دومًا أكبر من السرعة الهوائية المكافئة. فمثلاً عند ارتفاع 40 ألف قدم فإن الجذر التربيعي لنسبة الكثافة يزيد قليلًا عن 2. أي تكون السرعة الهوائية الحقيقية ضعف السرعة الهوائية المكافئة. وفي الأجهزة الحديثة يقوم الحاسوب في الطائرة بحساب السرعة الحقيقية من معرفة ارتفاع الطائرة ودرجة الحرارة الخارجية، حيث أن كثافة الهواء ترتبط بالضغط الجوي p المحيط بالطائرة ودرجة حرارة الجو المحيط T (مقيسة بالكلفن kelvin)، بالمعادلة العامة للغازات والمعروفة من دروس الفيزياء:

$$— = —$$

وفي بعض الطائرات يوجد جهاز ميكانيكي صغير يساعد الطيار على حساب السرعة الهوائية الحقيقية من السرعة الهوائية المبيّنة (الشكل 2)، ويمكن استخدام مِحْساب الطيار لهذا الحساب (وسيأتي ذكره). أما في الطائرات الحديثة الكبيرة فيمكن حساب السرعة الهوائية الحقيقية من عدّاد ماخ (سيأتي ذكره أيضًا).

السرعة الأرضية

السرعة الأرضية (Ground speed, GS) هي سرعة الطائرة بالنسبة للأرض، في حين أن السرعة الهوائية هي سرعتها بالنسبة للهواء المحيط بها. لكن لماذا تختلف هاتان السرعتان؟ والجواب مرتبط بوجود رياح في طبقات الجو. فإذا كانت الرياح تعاكس اتجاه الطائرة فإن السرعة الأرضية تساوي السرعة الهوائية ناقصًا منها سرعة الرياح. وبالعكس، إذا كانت الرياح خلفية فإن السرعة الأرضية تساوي السرعة الهوائية مضافًا إليها سرعة الرياح. وفي أثناء كتابة هذه المقالة قمت بالبحث عن مدة الرحلة من مطار هيثرو في لندن (بريطانيا) إلى مطار ترودو في مونتريال (كندا) في أواخر هذا الشهر (كانون الأول/ديسمبر) فوجدت أن الرحلة على إحدى طائرات إيرباص تستغرق سبع ساعات ونصف، في حين أن رحلة العودة على الطائرة نفسها تستغرق



الشكل 1 | أنبوب بيتو مركب على طائرة



الشكل 2 | مقياس السرعة الهوائية الحقيقية

ست ساعات ونصف. وقد قمت بالبحث عن اتجاه الرياح السائدة بين المدينتين هذا الشهر فوجدتها من الغرب إلى الشرق، وهذا يفسر الفرق بين مدة رحلتي الذهاب والعودة وهذا أيضًا بسبب الطيران مع اتجاه دوران الأرض أو عكسه. وبالمناسبة فإن بعض الطائرات الحديثة فيها عداد للسرعة الأرضية يُستخدم لمساعدة الطيار على حساب زمن الرحلة ومقارنته بجدولها الزمني. لكن المعوّل عليه في كل مراحل الطيران (بما فيها الإقلاع والهبوط) هو السرعة الهوائية لأنها تدل على حركة الطائرة بالنسبة للهواء المحيط.

وكثيرًا ما يسألني بعض الناس: هل يمكن للطائرة أن تقف في الجو؟ فأقول: نعم لطائرة الهليكوبتر، وألف لا للطائرة ذات الأجنحة الثابتة التي يجب أن تبقى سرعتها الهوائية أعلى من حد معين وإلا فستهوي، فيؤكدون أنهم رأوا طائرة واقفة في السماء. وفي الحقيقة إن ما يرونه هو طائرة بسرعة أرضية منخفضة جدًا، لكن سرعتها الهوائية أعلى من ذلك بسبب وجود رياح معاكسة لها.

مثلث الرياح

إذا كان اتجاه الرياح مائلًا عن اتجاه الطائرة فتحلل سرعة الرياح إلى سرعتين، واحدة على طول محور الطائرة، والأخرى عمودية عليه. ولا شك أن الرياح الجانبية تستدعي من الطيار مهارة خاصة لتوجيه الطائرة في الاتجاه المناسب بالنسبة لهدفه، وإلا فإن الطائرة ستصل إلى هدف آخر. وهذا الأمر يشبه وضع الذي يسبح في النهر ليعبر إلى النقطة المقابلة على الضفة الأخرى. فإذا توجّه عموديًا على ضفته فإنه لن يصل إلى النقطة المقابلة له، بل إلى نقطة بعدها في مجرى النهر. وللوصول إلى النقطة المقابلة تمامًا عليه أن يسبح عكس التيار مائلًا عن اتجاه حركة ماء النهر. يوضح الشكل 3 مثلث الرياح (wind triangle) الذي يوضح العلاقة بين اتجاه الرياح والسرعة الهوائية والسرعة الأرضية. ويستخدم الطيار محسابه ليستطيع توجيه الطائرة بالاتجاه المناسب ليبلغ هدفه. لكن في الطائرات الحديثة تتعاضد مجموعة من الأنظمة لتزويد نظام إدارة الطيران (Flight Management System, FMS) بالاتجاه المناسب للطائرة.

بين السرعة الهوائية المكافئة والسرعة الهوائية الحقيقية

مما سبق يتبين أن السرعة الهوائية المكافئة في الطيران دون الصوتي وعلى ارتفاعات ليست عالية تساوي تقريبًا السرعة الهوائية المُبَيَّنة. فما أهمية السرعة الهوائية المُبَيَّنة مادامت لا تمثل الحقيقة؟ في الواقع هذه السرعة مهمة جدًا للطيار. فلكل طائرة سرعات مهمة يجب أن يحفظها الطيار عن ظهر قلب. ومن هذه السرعات مثلًا سرعة الانهيار أو الهَوَيان (Stall speed)، وهذه السرعة هي الحد الفاصل بين بقاء الطائرة تطير أو تهوي على الأرض. أي إذا انخفضت سرعة الطائرة عن هذه القيمة لا تستطيع الطائرة الاستمرار في الطيران، بل تسقط على الأرض. وعمليًا لا تقلع الطائرة من الأرض إلا بعد أن تصبح سرعتها أكبر من سرعة الانهيار بمقدار معين، وكذلك عند الهبوط فإن الطائرة تهبط وسرعتها أعلى من قيمة سرعة الانهيار. وبحسب مفهوم السرعة المكافئة فإن الطيار يحفظ سرعة واحدة فقط للانهيار، أما إذا استخدم مفهوم السرعة الحقيقية فإن على الطيار أن يحفظ سرعة الانهيار لكل ارتفاع من ارتفاع الطائرة.

محساب الطيار

واضح أن الطيار يحتاج لبعض الحسابات من أجل توجيه الطائرة ومعرفة السرعة الحقيقية. ومحساب الطيار أو محساب الطيران (E6B flight computer) هو جهاز حساب يدوي كان يساعد الطيار كثيرًا في هذه الحسابات وذلك قبل أن تتطور أنظمة الملاحة الحديثة ويدخل فيها الحاسوب الذي صار يقوم بالحسابات في الطائرات الكبيرة خصوصًا، لكن مازال محساب الطيار مهمًا في تدريب الطيارين. والشكل 4 يوضح هذا المحساب، وهو قرص عليه دوائر منزلقة بالنسبة لبعضها بعضًا.

مقياس ماخ

الطائرات الكبيرة اليوم فيها جهاز لقياس رقم ماخ (Machmeter). ورقم ماخ (Mach Number) هو نسبة سرعة الطائرة V إلى سرعة الصوت a:

$$M=V/a$$

وسرعة الصوت تتناسب طردًا مع الجذر التربيعي لدرجة الحرارة (بالكلفن). فإذا كانت سرعة الصوت عند سطح البحر a_0، تكون سرعة الصوت عند ارتفاع معين:

$$= \quad /$$

وهكذا فإن السرعة الحقيقية:

$$=$$

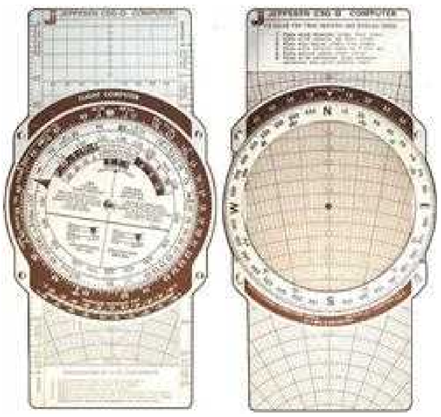
ومقياس رقم ماخ يوضح للطيار سرعته الحقيقية بالنسبة لسرعة الصوت المحيطة به كي لا يتجاوز حدَّه، فالطائرات المدنية دون الصوتية لا يتجاوز رقم ماخ فيها (0.85)، وإلا قد يحصل فيها موجات صوتية على بعض أجزاء الجناح. ويمكن حساب السرعة الهوائية الحقيقية من مقياس رقم ماخ باستخدام المعادلة الأخيرة.

ومن المعادلات السابقة يمكن أن نكتب رقم ماخ بالطريقة التالية:

$$= = $$



الشكل 3 | مثلث الريح



الشكل 4 | محساب الطيار

وهذا يعني أن مقياس رقم ماخ لا يحتاج درجة الحرارة ولا كثافة الهواء بل يحتاج إلى الضغط عند ارتفاع الطيران، وهو ما يقاس بطبيعة الحال، إضافة للسرعة الهوائية المكافئة وسرعة الصوت عند سطح البحر.

وتبلغ سرعة الصوت في الهواء عند سطح البحر كما هو معلوم من الفيزياء 340.29 متر في الثانية، أي 1225.044 كيلومتر في الساعة، أو 661.47 عقدة. فإذا طارت الطائرة برقم ماخ 0.83 على ارتفاع 30 ألف قدم (9144 مترًا) تكون درجة الحرارة 44 درجة تحت الصفر (هي تنقص 6.5 درجة لكل كيلومتر ارتفاع)، أي 229 كلفن، وحيث أن درجة الحرارة عند سطح البحر في الجو القياسي 15 درجة مئوية، أي 288 كلفن، تكون السرعة الهوائية الحقيقية للطائرة 906 كيلومتر في الساعة ■

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

www.ffamag.com | /flig... | /flightforallmag

السنة الثانية - العدد 8 - آذار (مارس) 2016



الطيران الاستعراضي

النفق الهوائي

مواد الطيران



النفق الهوائي



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

ما هو النفق الهوائي؟

النفق الهوائي جهاز يُستخدم لدراسة تأثير حركة الهواء على الأجسام الصلبة التي فيه. ويعتمد على مبدأ أنه لا فرق بين جسم يتحرك في الهواء، أو هواء يتحرك حول الجسم. فهو إذن جهاز يقوم على الأرض بمحاكاة حركة الهواء حول الطائرة في الجو، حيث يُتحكم فيه بالشروط المحيطة بنموذج للطائرة لتماثل تلك المحيطة بالطائرة الحقيقية في الجو، وتنجز قياسات دقيقة للقوى على النموذج لتحديد قيمة القوى على الطائرة الحقيقية. ويمكن استخدام النموذج في النفق الهوائي لتشخيص وتحديد كيفية تحرك الهواء حول الطائرة أثناء الطيران.

ويُستخدم النفق الهوائي لدراسات هندسية مختلفة، تنجز على نموذج كامل لطائرة جديدة أو على أجزاء مختلفة منها كالأجنحة أو الذيل أو عجلات الهبوط. ويمكن عمل دراسات أخرى كدراسة أثر تكوّن الجليد على جناح الطائرة مثلًا. وكما ذُكر، ففي الجو تتحرك الطائرة في الهواء، أما في النفق الهوائي فيكون نموذج الطائرة مثبتًا والهواء يتحرك حوله. إنها عملية محاكاة تجرى بطريقة علمية مدروسة، ويُتحكم بجريان الهواء في النفق لدراسة مختلف القوى على النموذج وقياسها لاستنتاج القوى على الطائرة الكاملة عندما تطير في الجو، مما يؤدي إلى فهم وتطوير أداء الطائرات بهذه الاختبارات التي تجرى على النماذج في النفق الهوائي. وهذه الدراسات تجعلنا أكثر يقينًا من أن الطائرة ستؤدي عملها كما هي مصممة له، وتجعلنا نتأكد من مستوى الأمان الذي تحققه أثناء طيرانها في الجو.

ومع أن برامج النمذجة على الحاسوب والخاصة بالتحريك الهوائي تقدمت تقدمًا كبيرًا، حيث تمكننا من وضع التصميم الأمثل للطائرات، فإن اختبارات النفق الهوائي مازالت مهمة للتأكد من نتائج برامج الحاسوب.

وكما تجرى الدراسات على الطائرات، فإنها تجرى أيضًا على مركبات الفضاء والصواريخ. فمركبات الفضاء، وإن كانت ستسافر في الفضاء الخارجي حيث لا يوجد هواء، لابد لها من الطيران عبر الغلاف الجوي قبل خروجها إلى الفضاء، وكذلك بعد عودتها من الفضاء. وكذلك فإن النفق الهوائي يُستخدم لمعرفة كيف ستتحرك الصواريخ في الجو. وقد ساعدت التجارب التي تجرى في النفق الهوائي على تطوير تصميم كل من الطائرات، ومركبات الفضاء، والصواريخ، ومظلات الهبوط، وجعلها أكثر أمانًا.

أنواع الأنفاق الهوائية

هناك عدة أنواع من الأنفاق الهوائية، منها: النفق الهوائي منخفض السرعة، والنفق الهوائي عالي

السرعة، وكلاهما للسرعات دون الصوتية (حيث تقل سرعة الطائرة عن سرعة الصوت). وهناك النفق الهوائي للسرعات القريبة من سرعة الصوت (Transonic). والنفق الهوائي فوق الصوتي (حيث تزيد سرعة الطائرة عن سرعة الصوت)، والنفق الهوائي فرط الصوتي (حيث تزيد السرعة عن خمسة أضعاف سرعة الصوت). وهناك أيضًا النفق الهوائي للإقلاع والحط العمودي والقصير (V/STOL tunnels)، وهناك أنواع أخرى لأغراض مخصصة كالنفق الهوائي لاختبار الضجيج الصوتي (Aeroacoustic tunnel).

والنفق الهوائي يمكن أن يكون مفتوحًا، يسحب الهواء من خارج النفق إلى داخله ثم يخرجه في نهايته إلى الخارج (الشكلان 1 و2)، أو قد يكون مغلقًا يدور فيه الهواء في دائرة مغلقة (الشكلان 3 و4). وتختلف الأنفاق الهوائية عن بعضها في الحجم، فهناك الأنفاق الصغيرة كالتي تُستخدم في التعليم في المعاهد والجامعات، وهناك الأنفاق الكبيرة التي يصل حجمها إلى إمكانية اختبار طائرة أو سفينة فضاء بمقاسها الطبيعي.

تصميم النفق الهوائي

ووفقًا لما ذكر آنفًا، فإن النفق الهوائي يصمم لغرض معين. ومهما يكن نوع النفق الهوائي فهناك مكان خاص للنموذج الذي ستجرى عليه التجارب. وهذا المكان يُسمى مقطع الاختبار (test section) الذي يجب أن تكون سرعة الهواء عنده هي السرعة المرغوبة للاختبار. وهذه السرعة تؤثر في تصميم النفق الهوائي بسبب تأثير انضغاطية الهواء (Compressibility effects). ففي النفق الهوائي دون الصوتي، تبقى كثافة الهواء ثابتة تقريبًا، وعندما يقل المقطع العرضي للنفق الهوائي تزداد سرعة جريان الهواء وينخفض الضغط، في حين يحصل العكس عند زيادة المقطع العرضي للنفق. ولهذا السبب فإنه قبل مقطع الاختبار في النفق دون الصوتي، نجد أن مقطع النفق يقل بدءًا من المدخل، ولذا يُسمى هذا الجزء المقطع المتضايق (Contraction section)، ثم يبقى ثابتًا في منطقة مقطع الاختبار، ثم يبدأ بالتوسع بعد مقطع الاختبار، وهذا الجزء الأخير يُسمى الناشر (Diffuser)، الشكل 5. ويُلاحظ أنه مهما ازدادت السرعة تبقى دون سرعة الصوت، ولذا فإن رقم ماخ عند مقطع الاختبار أقل من الواحد، وهذا ما نراه في الشكل 5.

أما في النفق فوق الصوتي فتتغير كثافة الهواء بتأثير انضغاطيته. وفي الحقيقة، فإن الكثافة تتغير أسرع من تغير السرعة نفسها، من قبيل مربع رقم ماخ. ولذا فإنه في الناشر حيث يزداد المقطع العرضي تزداد السرعة ويقل الضغط. وإضافة إلى ذلك فإنه في الجريان الانضغاطي (Compressible flow) يحصل اختناق في الجريان. ففي المقطع المتضايق يكون الجريان بسرعة أقل من سرعة الصوت، وتبدأ بالازدياد مع نقصان مساحة المقطع، لكنها عندما تصل إلى سرعة الصوت (أي يصبح رقم ماخ مساويًا الواحد) لا يمكنها أن تتجاوزها حيث يحصل اختناق عند العنق. وبعد العنق يدخل الجريان في الناشر فتزداد سرعته إلى أعلى من سرعة الصوت. ولذا فإن مقطع الاختبار يأتي هنا في نهاية الناشر حيث تكون سرعة جريان الهواء قد وصلت إلى السرعة المطلوبة، الشكل 6.

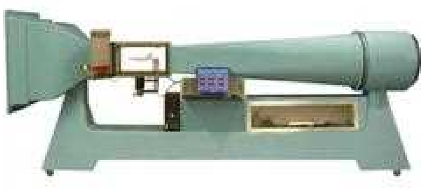
ويُراعى ألا يكون المقطع العرضي للنفق ذا أركان حادة لأنها تولد اضطرابًا في جريان الهواء. كذلك يُجعل السطح الداخلي للنفق مصقولًا وخاليًا من النتوءات لتقليل مقاومته لجريان الهواء. ومن الضروري إبعاد الجسم المدروس عن جدران النفق كي لا تؤثر الجدران على جريان الهواء حول النموذج.

إن عملية اختبار نموذج تتطلب تحقيق قواعد التشابه بينه وبين الجسم الأصلي، وذلك وفق الاختبار المطلوب إجراؤه. فكل الأبعاد في الجسم الأصلي يجب أن تخفض بالنسبة نفسها، لضمان التشابه الهندسي. أما من حيث سرعة الهواء في النفق وسرعة الطائرة الحقيقية في الجو، فإن يُشترط أن يكون رقم ماخ (نسبة السرعة إلى سرعة الصوت) نفسه في النموذج والجسم الأصلي، وهذا طبعا لا يعني تطابق السرعتين.

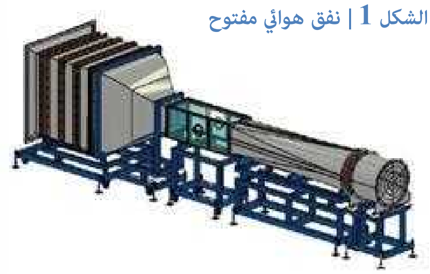
أجزاء النفق الهوائي

يمكن تبسيط أجزاء النفق الهوائي، حيث يبين الشكل 7 نفقًا هوائيًا مغلقًا (دون صوتي). ويتحرك الهواء داخله بواسطة مروحة (يتناسب مقاسها مع مقاس المقطع العرضي للنفق)، ويحركها محرك كهربائي كبير. ولأن النفق مغلق، فإن الأرياش في أركانه تساعد على تغيير الاتجاه دون خسارة تُذكر في ضغط الهواء. ولأن الهواء الخارج من المروحة لا يكون منتظمًا، بل فيه اضطراب، فإنه يمر عبر مقوّم الجريان الذي يجعل جريان الهواء منتظمًا. وبعدها يمر في المقطع المتضايق الذي تزداد فيه السرعة إلى السرعة المطلوبة عند مقطع الاختبار الذي يعلَّق فيه النموذج المعد للاختبار والدراسة. وفي النفق دون الصوتي، فإن مقطع الاختبار له أصغر مساحة عرضية وأكبر سرعة في النفق. وبعد المرور بمقطع الاختبار يدخل الهواء في الناشر حيث يتمدد وتقل سرعته قبل العودة عبر أرياش تغيير الاتجاه إلى المروحة ليعاد تدويره.

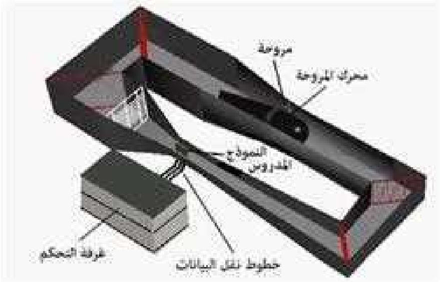
ومما يميز النفق الهوائي المغلق هو إمكانية استمرار الاختبار لوقت طويل مقارنة بوقت أقصر في النفق الهوائي المفتوح، الذي يختلف عن النفق المغلق بأن المروحة تكون في نهاية الناشر، ولا يحتاج لأرياش تغيير الاتجاه. وهنا يكون مقوّم



الشكل 1 | نفق هوائي مفتوح



الشكل 2 | نفق هوائي مفتوح



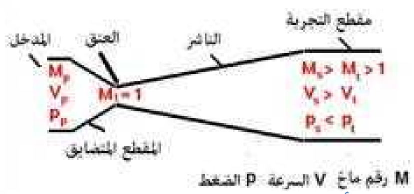
الشكل 3 | نفق هوائي مغلق



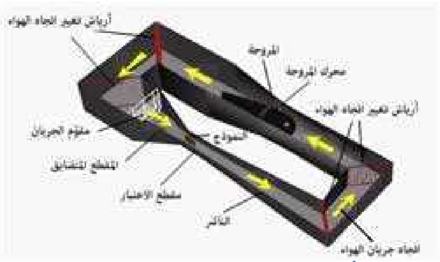
الشكل 4 | نفق هوائي مغلق



الشكل 5 | أجزاء النفق دون الصوتي



الشكل 6 | أجزاء النفق فوق الصوتي



الشكل 7 | أجزاء نفق هوائي مغلق

الجريان عند المدخل، وتكون أجزاء النفق كلها على استقامة واحدة، الشكلان 1 و2. وعند المخرج تُوضع شبكة لحماية الناس من المروحة.

وعندما يكون النفق ذا مقطع عرضي كبير قد لا تكفيه مروحة واحدة، فتستخدم عدة مراوح متوازية لتحريك الهواء، وقد تحرك المراوح بواسطة محرك عنفي (تربيني Turbofan) عوضًا عن المحرك الكهربائي. وفي بعض الأنفاق الهوائية يستخدم محرك نفاث عوضًا عن المروحة.

ويمكن تثبيت النموذج المدروس في مكانه بواسطة مجال مغناطيسي قوي، وذلك للاستغناء عن أساليب التثبيت الأخرى التي لا شك تؤثر على جريان الهواء ولو بمقدار بسيط.

تشغيل النفق الهوائي

في النفق الهوائي منخفض السرعة، حيث لا تؤخذ انضغاطية الهواء في الاعتبار، وحسب قانون الحفاظ على الكتلة، تكون كمية الهواء في النفق ثابتة. وهذه الكمية تساوي حاصل ضرب كثافة الهواء (ρ) في سرعته في مساحة المقطع العرضي، أي (ρVA=constant). ولأن كثافة الهواء ثابتة في السرعات المنخفضة، يمكن القول بأن حاصل ضرب السرعة في مساحة المقطع العرضي تبقى ثابتة، أي (VA=constant) مما يعني أن انخفاض مساحة المقطع العرضي تعني بالضرورة زيادة سرعة الهواء، والعكس بالعكس، فإن زيادة المقطع العرضي تؤدي إلى انخفاض السرعة. ولذا فإن السرعة في المقطع المتضايق تزداد لتصل إلى أقصاها في مقطع الاختبار، وتبقى ثابتة عبره. ومساحة مقطع الاختبار هي أصغر مساحة عرضية في النفق دون الصوتي، ثم تنخفض السرعة مع تمدد الهواء في الناشر وازدياد مساحة المقطع العرضي.

يُعلق النموذج في مقطع الاختبار، ويُوصل بأجهزة القياس المطلوبة في التجربة. ويُتأكد من المشابهة بين ظروف الهواء حول النموذج والحالة الحقيقية للطيران من حيث رقم ماخ (Mach number) ورقم رينولدز (Reynolds number)، وهذان الرقمان يتعلقان بسرعة وكثافة الهواء في النفق.

القياسات في النفق الهوائي

تقاس سرعة الهواء من الضغط الساكن والضغط الكلي لاستنتاج الضغط الحركي الذي نحصل منه على السرعة، وهذا ما بيّناه في مقالة سابقة عن سرعة الطائرة. وفي السرعات فوق الصوتية (حيث يكون جريان الهواء انضغاطيًا) يُقاس الارتفاع في درجة الحرارة أيضًا.

ويقاس توزع الضغط بواسطة ثقوب في مجرى الهواء موصولة بمقاييس ضغط (manometers) أو غير ذلك من الطرق.

ولقياس قوى وعزوم التحريك الهوائي (Aerodynamic forces and moments) على النموذج المدروس، يُعلق على ميزان القوى (Force balance)، الشكل 8. ويمكن تغيير زاوية الهبوب (Angle of attack) بين النموذج واتجاه الهواء للحصول على منحنيات بين مختلف العوامل وزاوية الهبوب.

رؤية جريان الهواء في النفق الهوائي

هناك عدة طرق تمكّننا من رؤية جريان الهواء في النفق الهوائي، منها: استخدام الدخان (Smoke)، أو الفقاعات أو الأصبغة أو وضع شعيرات (Tufts) على النموذج فيُرى منها شكل الجريان. كما يمكن استخدام المعلقات المتبخرة (Evaporating suspensions)، وهي خليط من البودرة الناعمة جدًا التي تُخلط بسائل ذي حرارة تبخر كامنة منخفضة. وعندما يبدأ الجريان، يتبخر السائل بسرعة، ويترك المعلقات لتعطي شكل الجريان. وقد استُخدم أيضًا الزيت، فدُهن النموذج به ليظهر شكل الجريان. ويمكن استخدام الضباب الذي يتشكل من جزيئات الماء بواسطة بخاخة كهربائية ضغطية فوق سمعية (Ultrasonic piezoelectric nebulizer)، ثم ينتقل الضباب في النفق المغلق ويظهر شكل الجريان.

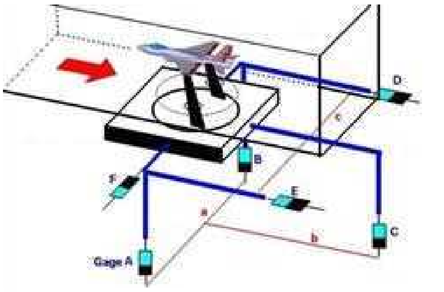
وهذه الطرق تعطينا فكرة أفضل عن خواص الجسم، وتشكيل الدوامات خلفه، أو انفصال جريان الهواء عن الجسم، إلخ، الأشكال 9 و10 و11.

غرفة التحكم

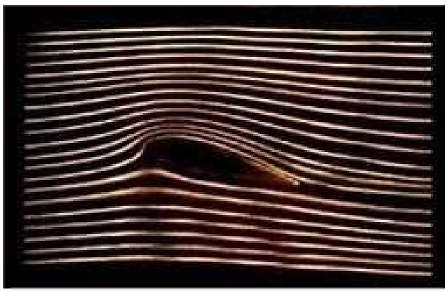
يوصل النموذج المدروس في الأنفاق الكبيرة بأجهزة قياس حسب نوع التجربة، وتنقل البيانات إلى غرفة التحكم عبر أسلاك كهربائية، الشكل 3. يقوم المهندسون والفنيون في غرفة التحكم بالتحكم بتشغيل النفق الهوائي، حيث يضبطون سرعة المروحة للتحكم بسرعة الهواء، ويتحكمون بالنموذج المدروس حسب نوع التجربة، إذ قد تتطلب بعض التجارب تحريك النموذج لتحاكي مناورة معينة للطائرة. ويستدعي هذا طبعًا التحكم بأجهزة القياس الموصولة بالنموذج. والمهمة الثالثة لغرفة التحكم هي جمع البيانات من التجارب وتدقيقها واكتشاف أي خطأ إن وُجد. ويتناسب حجم غرفة التحكم مع حجم النفق الهوائي نفسه، وأنواع التجارب التي يقوم بها، وبذلك يزداد عدد المهندسين أو الفنيين في غرفة التحكم تبعًا لذلك.

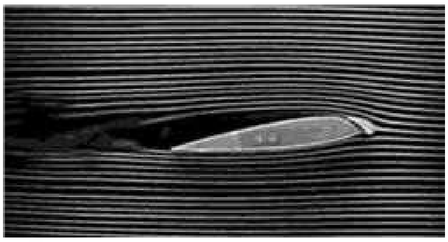
الأنفاق الهوائية الخاصة بالمَركبات الأخرى

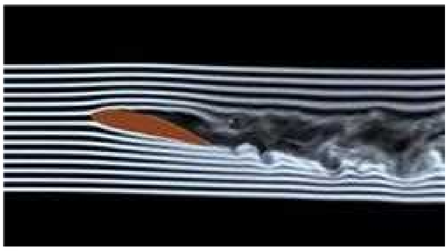
لقد اخترع النفق الهوائي أصلًا لأبحاث الطيران، حيث تشمل دراسات النفق الهوائي الطائرات (الشكل 12)، ومَركبات الفضاء (الشكل 13)، والصواريخ (الشكل 14)، لكنه اليوم لا يقتصر استخدامه على عالم الطيران، بل صار يُستخدم في اختبار وسائل النقل الأخرى، وهكذا صارت



الشكل 8 | النموذج المدروس معلق على ميزان القوى


الشكل 9 | خطوط التيار حول مقطع جناح


الشكل 10 | انفصال الجريان عن نموذج جناح


الشكل 11 | اضطراب الجريان خلف نموذج جناح


الشكل 12 | نموذج طائرة في نفق هوائي


الشكل 13 | نموذج مكوك الفضاء فوق طائرته في نفق هوائي

السيارات مثلًا ذات أشكال انسيابية لتقلل من مقاومة الهواء عليها وهي تسير بسرعات عالية، ومثلها صارت القطارات عالية السرعة.

وللأنفاق الهوائية الخاصة بالمَركبات الأرضية (السيارات وأمثالها) أنواع. فبعضها لاختبار هياكل المَركبات، وبعضها لاختبار أجزاء معينة منها، مثل أنظمة الفرامل وغيرها تحت ظروف جوية مختلفة. ويوجد أنفاق هوائية لاختبار نماذج مصغرة للمَركبات، ويوجد أنفاق هوائية كبيرة يمكنها اختبار المَركبات بمقاسها الكامل، الأشكال 15-17.

وفيما يتعلق بالسيارات والقطارات، فإن الهدف من دراستها هو تصميمها بنحو يقلل من مقاومة الهواء لها للتقليل من مقدار الطاقة المطلوبة لتحريكها بالسرعات العالية. وتختلف المَركبات الأرضية عن المَركبات الجوية في أمر مهم، وهو وجود تداخل بين حركة المَركبة الأرضية والأرض التي تسير عليها، الأمر الذي لا تعاني منه المَركبات الجوية. وحيث أن الاختبار في النفق الهوائي يعني تحريك الهواء مع بقاء المَركبة والأرض ثابتة، فهذا يستدعي محاولة تحريك الأرض لدراسة التداخل بين المَركبة والأرض، وهذا ما أدى إلى إدخال فكرة وضع المَركبات على سير متحرك لعمل مشابهة مع الواقع. وقد استُخدمت هذه الطريقة أيضًا في دراسة الطائرات في النفق الهوائي في مرحلتي الإقلاع والهبوط.

ويمكن في النفق الهوائي دراسة حركة دراجات السباق (الشكل 18)، وحركة كرة التنس (الشكل 19).

وأخيرًا وليس آخرًا فهناك أنفاق لدراسة الإنشاءات المدنية، وتُستخدم لقياس سرعة الرياح حول الأبنية العالية والأبنية ذات الأشكال الغريبة والجسور المعلقة والجسور المثبَّتة بالكوابل، حيث تقاس القوى والضغوط من الرياح على هذه الإنشاءات لتبنى بحيث تقاوم الرياح العاتية، الأشكال 20-22 ■

(شاهد الفيديو بقراءة مربع الشيفرة أو بالنقر عليه)
اختبار نموذج طائرة X-48C في النفق الهوائي





الشكل 14 | نموذج لصاروخ في نفق هوائي



الشكل 15 | نموذج سيارة في نفق هوائي



الشكل 16 | نموذج سيارة سباق في نفق هوائي



الشكل 17 | نموذج قطار في نفق هوائي



الشكل 18 | دراسة حركة دراجات السباق في نفق هوائي



الشكل 19 | دراسة حركة كرة التنس في نفق هوائي



الشكل 20 | دراسة الرياح حول برج والمنطقة المحيطة به



الشكل 21 | دراسة حركة الرياح حول نموذج جسر



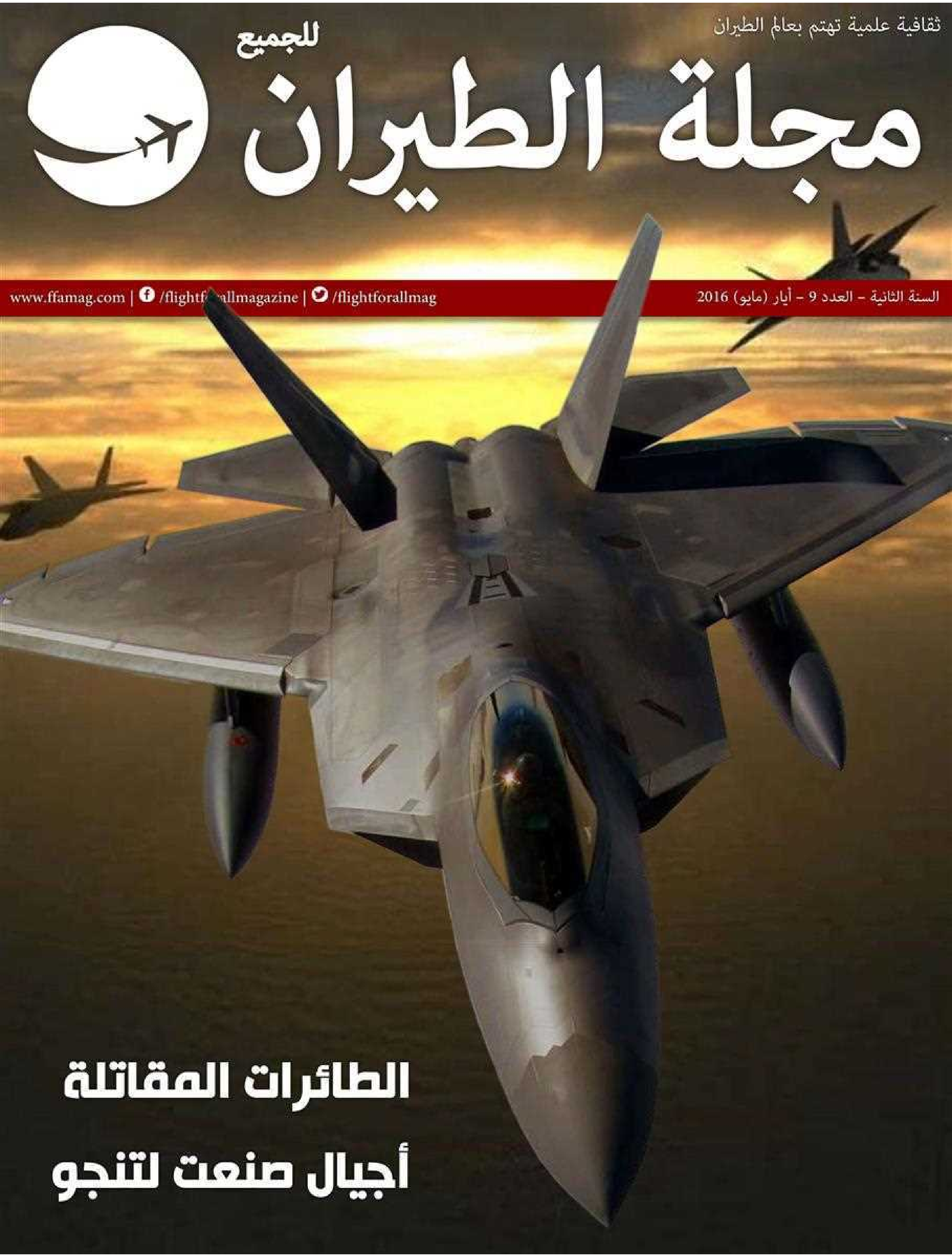
الشكل 22 | دراسة حركة الرياح حول منطقة أبنية عالية

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الثانية – العدد 9 – أيار (مايو) 2016

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag



الطائرات المقاتلة
أجيال صنعت لتنجو



أجنحة الطائرة (2/1)



أ.د. محمود نديم نحاس

خبير في هندسة الطيران

أجنحة الطائرة هي التي تولِّد قوى الرفع التي تمكّن الطائرة من الطيران في السماء. ولذا فهي من الأهمية بمكان في عالم الطائرات. وتصميمها بالشكل الأمثل يؤدي إلى أن يكون الطيران أفضل. وفي هذه المقالة والمقالة التي تليها ألقي الضوء على أهم الأمور المتعلقة بتصميم الأجنحة وشكلها الهندسي والعوامل التي تؤثر على التصميم. وإضافة إلى مبادئ التحريك الهوائي (مبادئ الإيروديناميكس) هناك عوامل أخرى تلعب دورًا في تصميم الأجنحة مثل وزن إنشاء الجناح وكلفة تصنيعه وسهولة صيانته في أثناء الخدمة. وبالتالي فلابد دومًا من حلول وسطية لمراعاة مختلف العوامل المؤثرة على التصميم.

اختيار المنساب الهوائي

المنساب الهوائي هو شكل المقطع العرضي للجناح. وكما تختلف كلمة طائرة بين الكتابة البريطانية (Aeroplane) والكتابة الأمريكية (Airplane) فالمنساب الهوائي تختلف كتابته أيضًا بالطريقة نفسها بين الإنجليزية البريطانية (Aerofoil) والإنجليزية الأمريكية (Airfoil). وقد يُعرَّف بأنه جسم صلب مصمم للحركة في وسط غازي بحيث تكون قوى الرفع عليه (Lift) أكبر بكثير من قوى الكبح (أو قوى المقاومة الهوائية) (Drag)، ومن أمثلته جناح الطائرة وأسطح التحكم وريشة الداسر (المروحة) وريشة العنفة (التربين). ويُطلق في الحقيقة على شكل المقطع العرضي لكل هذه الأجزاء، أو هو شكل شريحة رقيقة من الجناح أو الريشة أو غيرها من الأجزاء التي تولِّد قوة رفع (مثل ذيل الطائرة وأسطح التحكم). وقبل البدء بتصميم أجنحة الطائرة يتم اختيار المنساب الهوائي للجناح. ويوضح الشكل 1 شكل المنساب الهوائي لجناح طائرة. ويلاحظ شكله المميز الذي يولد قوى الرفع.



الشكل 1 | الجناح والمنساب الهوائي

والجناح له حافتان، حافة أمامية (Leading edge) وهي حافة مقدمته، والأخرى خلفية (Trailing edge) وهي حافة مؤخرته، وهذا كله ونحن ننظر إلى الأمام في الطائرة.

وفي الشكل 2 بعض المصطلحات الخاصة بالمنساب الهوائي.

أما خط الوتر (Chord line/Chordline) فهو الخط المستقيم الواصل بين الحافة الأمامية والحافة الخلفية. والزاوية بين خط الوتر والاتجاه النسبي للرياح (Relative wind) هي زاوية الهبوب (Angle of attack)، أو زاوية الهبوب الهندسية (Geometric angle of attack). والمقصود بالاتجاه النسبي للرياح هو اتجاه الرياح قبل وصولها إلى الجناح، أي على مسافة منه وقبل تأثرها بوجوده، وهي في الحقيقة موازية لحركة الجناح، وسرعتها هي سرعة الجناح.

أما خط التقوس الوسطي (Mean camber line) فهو الخط المرسوم بشكل يبعد بالتساوي عن السطحين العلوي والسفلي للجناح. والتقوس أو الانحناء (Camber) هو مقدار انحناء خط التقوس الوسطي. والمنساب الهوائي المتناظر ليس فيه تقوس، وفيه ينطبق خط التقوس الوسطي على خط الوتر. وكلما ابتعد خط التقوس الوسطي عن خط الوتر يعني أن تقوس المنساب الهوائي أكبر، فإذا زاد عن حد معين يُسمى كثير التقوس (Highly cambered).

باع الجناح والنسبة الباعية

باع الجناح أو امتداده (Span) هو المسافة بين النهاية الطرفية لأحد أجنحة الطائرة (Wingtip) والنهاية الطرفية للجناح الآخر، أما نصف الباع (Semi-span) فهو طول جناح واحد من جناحي الطائرة مقيسًا من مركز جسم الطائرة (أو من طرف جسم الطائرة أحيانًا) إلى نهاية طرف الجناح.

أما النسبة الباعية (Aspect ratio) فهي نسبة الباع إلى الوتر في حال كون المنساب الهوائي ذا سطح مستطيل (أي نسبة طول الجناحين إلى عرض الجناح). أما التعريف الأعم فهي نسبة مربع الباع إلى مساحة الجناح، أو نسبة الباع إلى طول الوتر الوسطي (Mean chord length). وطول الوتر الوسطي هو متوسط طول الوتر على طول الجناح. وفي الطائرات الصغيرة تكون النسبة الباعية بين 6-8، أي يكون الباع بين 6 إلى 8 مرات من عرض الجناح أو عرضه المتوسط.

مساحة الجناح

مساحة الجناح أو مساحة سطحه هي حاصل ضرب باع الجناح في طول الوتر الوسطي. وهذه المساحة من الأهمية بمكان لأن قوة الرفع مرتبطة مباشرة بها.

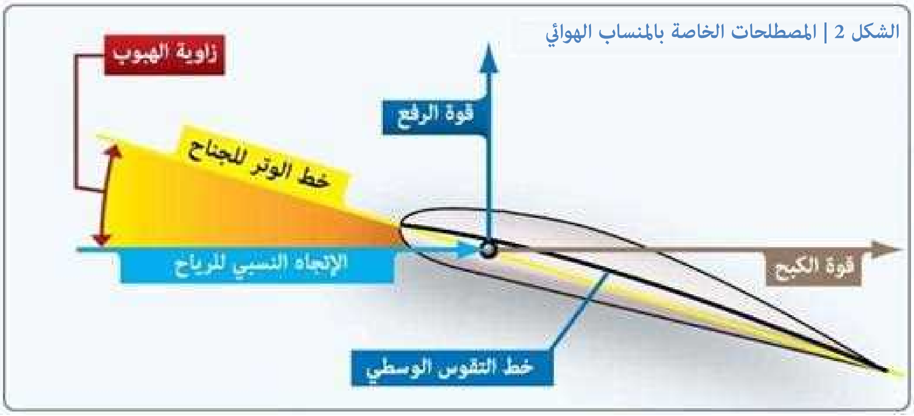
قوة الرفع

تُحسب قوة الرفع بالعلاقة التالية:

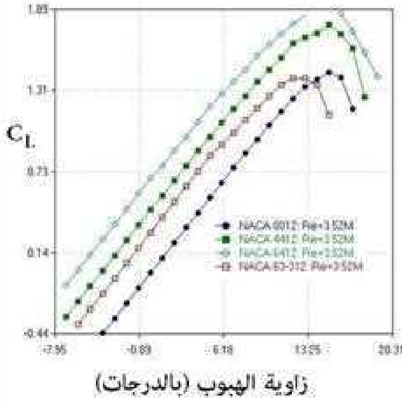
$$L = C_L \tfrac{1}{2} \rho V^2 S$$

حيث C_L مُعامل الرفع، ρ كثافة الهواء، V سرعة الطائرة، S مساحة الجناح.

الشكل 2 | المصطلحات الخاصة بالمنساب الهوائي



ومُعامل الرفع يزداد مع زيادة زاوية الهبوب كما في الشكل 3، الذي يُظهر تغير مُعامل الرفع لأربعة تصاميم مختلفة من المنساب الهوائي. ومن هنا فإن تصميم المنساب الهوائي له دور في قوة الرفع، كما إن زاوية الهبوب تلعب دورًا مهمًا.



الشكل 3 | تغير مُعامل الرفع مع زاوية الهبوب وتصميم المنساب الهوائي.

زاوية ورود (أو زاوية سقوط) الجناح

حركة الطائرة في الجو بسرعات عالية تولِّد قوى مقاومة لحركتها أو قوى كبح تكبح من حركتها (Drag). وزيادة هذه القوة تعني ضرورة زيادة قوة الدفع (Thrust) التي يقوم بها المحرك ليدفع الطائرة إلى الأمام. ولهذا فإن التصميم الانسيابي لكل أجزاء الطائرة مطلوب. وتكون قوى الكبح على بدن الطائرة أقل ما يمكن عندما يكون البدن موازياً للاتجاه النسبي للرياح.

وأجنحة الطائرة مركّبة على بدنها، ويتم إمالة الأجنحة بزاوية معينة بحيث يتولد عنها زاوية هبوب لتوليد الرفع. وزاوية الميل هذه تُسمى زاوية الوُرود أو زاوية السقوط (Wing incidence)، وهي إذًا الزاوية بين خط الوتر والمحور الطولي للطائرة، الشكل 4. وهذه الزاوية ثابتة، وهي صغيرة لا تتجاوز عدة درجات، لكنها كافية لتوليد قوى الرفع عندما تطير الطائرة في الطيران المطرد (Cruising)، وفي الحقيقة يتم اختيارها لتقابل أكبر نسبة من قوة الرفع إلى قوة الكبح.

وما ذُكر آنفًا هو تبسيط لموضوع معقد أكثر من هذا، حيث أن تحديد زاوية الورود في الطائرات النفاثة الكبيرة تحدده عوامل أخرى أيضًا.

سماكة الجناح أو المنساب الهوائي

إذا ازدادت سماكة الجناح (Wing thickness) يزداد الْمَخْر (Wake) خلفه، والمخر هو الهواء المضطرب والدوامات التي تحصل خلف الأجسام المتحركة في الهواء. وزيادة المخر تؤدي إلى زيادة قوة كبح الشكل (Form drag)، وهي جزء من الكبح الطفيلي (Parasitic drag). وقد تسبب السماكة الزائدة انفصال جريان الهواء عن الجناح مما يزيد في قوة الكبح. ورغم أن الجناح السميك له فوائد من الناحية الإنشائية، إذ لا يستطيع الجناح الرقيق جدًا أن يستوعب كل الأجزاء

الشكل 4 | زاوية ورود (أو زاوية سقوط) الجناح





الشكل 5 | الفرق بين انهيار الجناح السميك والجناح الرقيق



الشكل 6 | الفرق بين الحافة الأمامية المقوسة والحافة الأمامية الحادة.



الشكل 7 | مقطع الجناح في الطائرات المدنية التي تطير على سرعة قريبة من سرعة الصوت.

الإنشائية للجناح، ولهذا السبب اضطر المهندسون في الزمن الأول لتقوية الجناح بأجزاء إنشائية خارج الجناح.

تقوس الجناح

إن تقوس الجناح (Camber of a wing) هو مقياس لعدم تناظره، أي عدم تماثل سطحه العلوي وسطحه السفلي. فإذا تماثلا يكون متناظرًا، وفي هذه الحالة، أي حالة المنساب الهوائي المتناظر، ينطبق خط التقوس على خط الوتر. والتقوس يكون موجبًا عندما يكون انتفاخ السطح العلوي أكثر من انتفاخ السطح السفلي.

وفي الغالب فإن تقوس الجناح وشكل الحافة الأمامية مرتبطان، ويؤثران بشكل مباشر على انهيار الجناح (Wing stall) الذي هو فقدان قوة الرفع. وبشكل عام، عندما يزيد التقوس يزداد الرفع قبل أن يبدأ الانهيار أي يمتد منحنى معامل الرفع، وبالتالي يزداد أيضًا الحمل الذي يحمله الجناح، كما في الشكل 5.

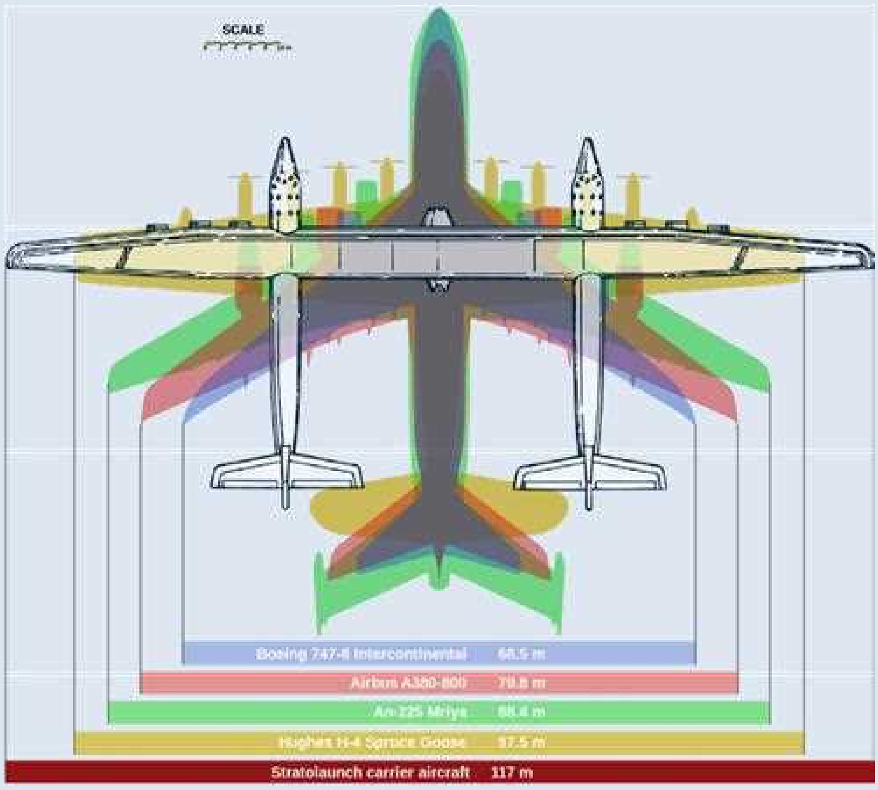
ويلعب نصف قطر انحناء الحافة الأمامية دورًا مهماً في كيفية حصول انهيار الجناح. فالحافة الأمامية الحادة تؤدي إلى الانهيار بشكل مفاجئ مقارنة بالحافة الأمامية المقوسة، حيث يتضح من الشكل 5 أن الانهيار مفاجئ في حالة الجناح الرقيق، في حين أنه تدريجي في الجناح السميك. وهناك نقطة على الجناح يبدأ عندها جريان الهواء بالانفصال عن الجناح، وتسمى نقطة الانفصال (Separation point). وهذه النقطة تتقدم للأمام مع زيادة زاوية الهبوب مما يعجّل بانهيار الجناح. ويظهر الشكل 6 كيف يكون الانهيار مفاجئًا في حالة الحافة الأمامية الحادة، في حين يكون تدريجيًا في حالة الحافة الأمامية المقوسة.

والطائرات المصممة للسرعات المنخفضة أو للتدريب تكون فيها الحافة الأمامية للجناح مقوسة، في حين أن الطائرات النفاثة المقاتلة تكون فيها الحافة الأمامية حادة. ومن الضروري أن يعرف الطيارون هذا الموضوع بشكل جيد، لأنهم ينتقلون من طائرات التدريب إلى الطائرات المقاتلة وهذه قد تنهار بشكل مفاجئ، بخلاف طائرات التدريب.

أما طائرات الإقلاع والحط القصير (Short-take-off-and-landing, STOL) ففي العادة تكون الحافة الأمامية فيها مقوسة وسميكة، حيث السرعة هنا ليست هدفًا في هذا النوع من الطائرات. في حين أن الطائرات المدنية التي تطير على سرعات قريبة من سرعة الصوت تُصمم أجنحتها لتكون قريبة من أن تكون مستوية السطح العلوي للجناح، ويكون التقوس في السطح السفلي للجناح وذلك لتخفيف قوى الكبح على الجناح عند هذه السرعات العالية، كما في الشكل 7.

وواضح أن اختيار المنساب الهوائي المناسب يعتمد على المهمة التي صُممت الطائرة من أجلها ■

باع الجناح أو امتداده (Span) هو المسافة بين النهاية الطرفية لأحد أجنحة الطائرة (Wingtip) والنهاية الطرفية للجناح الآخر، أما نصف الباع (Semi-span) فهو طول جناح واحد من جناحي الطائرة مقيسًا من مركز جسم الطائرة (أو من طرف جسم الطائرة أحيانًا) إلى نهاية طرف الجناح.



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الثانية – العدد 10 – تموز (يوليو) 2016

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

الكونكورد ومنافساتها





أجنحة الطائرة (2/2)



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

الشكل الهندسي الأفقي للجناح

إضافة إلى اختيار المنساب الهوائي المناسب (أو المقطع العرضي للجناح) فعلى المهندس أن يختار الشكل الهندسي الأفقي للجناح (Planform)، وهو شكل الجناح عندما يُرى من فوق أو من الأعلى. ولتصميم الشكل الهندسي للجناح، هناك عدة أمور مهمة، أولها حِمل الجناح أو تحميل الجناح (Wing loading)، وهو نسبة وزن الطائرة إلى مساحة الجناح، ويُقاس بالكيلوغرام/متر مربع(kg/m^2) أو بالرطل (الباوند) البريطاني/قدم مربع (lbs/ft^2). والمقصود بمساحة الجناح هي مساحة الجناحين معًا. وأهمية حِمل الجناح تأتي من أن بعض المتغيرات الأخرى المتعلقة بأداء الطائرة تُعطى كدالة من هذا الحِمل، فهو يحدد أداء الطائرة في الطيران المطّرد (Cruise)، ويحدد مسافة الإقلاع (Takeoff) ومسافة الحط أو الهبوط (Landing)، وكذلك الطاقة المطلوبة للطائرة (Power). ويوضح الجدول 1 القيم النمطية لحِمل الجناح لبعض أنواع الطائرات.

ويُلاحظ أنه مع ازدياد حجم الطائرة يزداد حِمل الجناح. وهناك عدة عوامل تحدد حِمل الجناح، فزيادة حِمل الجناح تعني زيادة سرعة الانهيار (Stall speed)، ولهذا فإن طائرات التدريب لها حِمل جناح منخفض. ولكن انخفاض حِمل الجناح يحدُّ من سرعة الطيران المطرد (Cruising speed)، لذا يكون حِمل الجناح في الطائرات السريعة مرتفعًا. كذلك فإن الطائرات ذات حِمل الجناح المرتفع تكون أقل حساسية لاضطراب الهواء (Clear-air turbulence). فعطالة الطائرة (أو قصورها الذاتي) تجاه اضطراب الرياح يجعلها أكثر مقاومة لأن يلعب بها الهواء المضطرب.

النسبة الباعية

ذكرتُ في المقال السابق أن النسبة الباعية للجناح (Aspect ratio) هي الباع (Span) مقسومًا على الوتر الوسطي (Mean chord)، وأن الباع هو طول الجناحين من طرف أحد الجناحين إلى طرف الجناح الآخر. وعمومًا فإن الطائرات

الجدول 1 | القيم النمطية لحِمل الجناح لبعض أنواع الطائرات

نوع الطائرة	حِمل الجناح (Wing Loading)	
	كيلوغرام/متر مربع (kg/m²)	رطل (باوند)/قدم مربع (lb/ft²)
الطائرات الشراعية	30	6
الطائرات الصغيرة بمحرك واحد	85	17
الطائرات الصغيرة بمحركين	130	26
الطائرات النفاثة المقاتلة	350	70
طائرات النقل الجوي الثقيلة	600	120

الجدول 2 | القيم النمطية للنسبة الباعية لبعض الطيور

الطير	النسبة الباعية
الغراب (Crow)	5
العصفور الدوري (House sparrow)	6
طائر الباز (Goshawk)	6
النسر الذهبي (Golden eagle)	8
نورس الرنجة (Herring gull)	10
خُطاف البحر (Tern)	12
القطرس المتجول (Wandering albatross)	19

منخفضة السرعة لها نسبة باعية مرتفعة، حيث تكون فيها الأجنحة طويلة ونحيلة، مثل الشكل 1 وهو لطائرة ذات راكبين وسرعتها 200 كم/ساعة. ولعل هذا أوضح ما يكون في الطائرات الشراعية (التي تطير بلا محركات وعلى سرعات منخفضة)، الشكل 2. والأجنحة ذات النسبة الباعية المرتفعة أكثر فعالية، بسبب انخفاض الكبح الحثي (Induced drag) فيها، لأن هذا الكبح يعتمد على توليد قوى الرفع، في حين يرتفع فيها الكبح الطفيلي (Parasite drag) الذي يعتمد على شكل الجناح عمومًا. ولذا فإن الطائرات ذات النسبة الباعية المرتفعة تتطلب محركًا أصغر، وتحتاج مسافة أقل للإقلاع والحط. وهذا لا يعني عدم وجود طائرات منخفضة السرعة مع نسبة باعية منخفضة نسبيًا، وخصوصًا بعض الطائرات البهلوانية (Acrobatic airplanes)، الشكل 3. كذلك فإن الاعتبارات الإنشائية تؤثر على اختيار قيمة النسبة الباعية للجناح، فالجناح الطويل النحيل يتطلب موادًا أكثر وينحني أكثر تحت تأثير الحِمل نفسه. أي أن الجناح ذا النسبة الباعية الأقل يوفر في الوزن الإنشائي ليوازن فعالية الرفع المنخفض، لأن القدرة الحثية (Induced power) تزداد من قبيل مربع الحِمل. ولأن الوزن في الطائرة هو المعيار الأهم، فإن تصميم الجناح لا بد أن يأخذ الوزن في الحسبان، لأن أي انخفاض في وزن الطائرة يعني أيضًا انخفاضًا في مساحة الأجنحة مما يعني أيضًا انخفاضًا آخر في وزن الأجنحة، وهذه سلسلة من التأثير الإيجابي لتصميم جناح أخف.

وهناك سبب آخر لاختيار نسبة باعية منخفضة، وهو القدرة على المناورة (Maneuverability)، فالجناح ذو النسبة الباعية العالية لا يمكنه القيام بالعُطوف (Roll) بسرعة. والعطوف هو دوران الطائرة حول محورها الطولي. ويكون معدل العُطوف في الطائرات البهلوانية مهم جدًا في كسب المسابقات، وكذلك الأمر في الطائرات المقاتلة التي عليها أن تكون سهلة المناورة لتتفوق على الطائرات المعادية. وفي المقابل فإن الطائرات المصممة للارتفاعات العالية، مثل طائرة الاستطلاع (U-2)، تكون فيها النسبة الباعية مرتفعة، الشكل 4، ويعود ذلك إلى أن كثافة الهواء تقل عند الارتفاعات العالية، وعلى الطائرة أن تطير بزاوية هبوب مرتفعة، لكن زيادة زاوية الهبوب تزيد من القدرة الحثية، فتأتي النسبة الباعية العالية لتقلل من القدرة الحثية.

ولأن الطائرات في الأصل ما هي إلا تقليد للطيور، فإن الجدول 2 يعطي قيم النسبة الباعية لبعض أنواع الطيور. وعمومًا فإن النسبة الباعية تعكس احتياجات الطير، فالطيور التي تطير لمسافات قصيرة أو تقوم بمناورات، نجدها منخفضة النسبة الباعية، على عكس الطيور التي تسافر لمسافات طويلة، لاسيما فوق البحار، فهذه لها أجنحة ذات نسبة باعية مرتفعة.

اجتراف الجناح

معظم أجنحة الطائرات الحديثة فيها اجتراف (Sweep)، والاجتراف هو أن يكون المحور الرئيسي للجناح غير عمودي على المحور الطولي للطائرة، أي بينهما زاوية. ومعظم الطائرات يكون فيها الاجتراف تراجعًا للخلف (Sweepback)، لكن بعضها يكون الاجتراف تقدمًا للأمام (Sweepforward). ويوصف الجناح بأنه متراجع للخلف (Sweptback or backward-swept) أو متقدم للأمام (Sweptforward or forward-swept)، أو يوصف بأنه مستقيم أو غير مجترف (Straight or unswept). ويوضح الشكل 5 الأنواع الثلاثة للأجنحة من حيث الاجتراف.

إن الهدف الرئيسي من اجتراف الجناح هو تقليل قوى الكبح عليه عند السرعات العالية، ولذا عند السرعات العالية القريبة من سرعة الصوت أو أعلى منها يكون الاجتراف إلزاميًا لتقليل القدرة المطلوبة والمحافظة على سرعة الطيران. ويمكن بالنظر إلى جناح الطائرة أن نقدّر السرعة التي تطير عليها الطائرة. والاجتراف يؤثر على استقرار الطائرة، وعمومًا يكون الجناح المتراجع أكثر استقرارًا. وتعزيز الاستقرار بتراجع الأجنحة للخلف مهم جدًا في طائرات الركاب لأن الطائرة يكون لديها نزعة تلقائية للعودة للاستقرار بعد دخولها في عصف هوائي. في حين أن الطائرات التي أجنحتها تتقدم للأمام تكون أقل استقرارًا، لكنها أكثر قابلية للمناورات. ويوضح الشكل 6 الطائرة الحــربية (X-29)، وهذه الطائرة غير مستقرة ولا يستطيع الطيار أن يتحكم بها بمفرده، ولذا فلها نظام تحكم



الشكل 1 | طائرة ذات نسبة باعية مرتفعة



الشكل 2 | طائرة شراعية



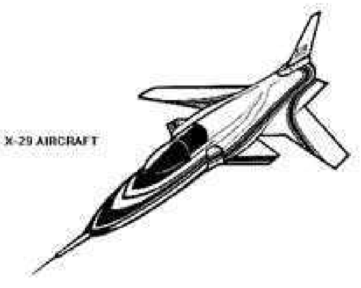
الشكل 3 | طائرة بهلوانية



الشكل 4 | طائرة الاستطلاع يو2



الشكل 5 | اجتراف الجناح



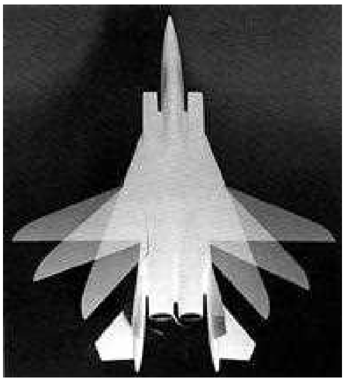
الشكل 6 | طائرة ذات أجنحة متقدمة للأمام

حاسوبي متقن يُسمى الطيران السلكي (Fly-by-wire).

ومما ينبغي ذكره أن الاجتراف للأمام يسبب مشكلة إنشائية، حيث يجب أن يكون إنشاء الجناح قويًا بما فيه الكفاية. فالاجتراف إلى الأمام يؤدي إلى التواء طرف الجناح بسبب الحمل، وهذا بدوره يزيد في الحمل على طرف الجناح فيؤدي إلى زيادة التوائه، مما يؤدي في النهاية إلى التواء الطائرة نفسها. وقد ساعدت المواد المركبة (Composite materials) التي يمكن تصميمها لزيادة الجسوءة (Stiffness) في الاتجاه المطلوب لمنع ظاهرة التباعد الإنشائي (Structural divergence) هذه.

وما دام اجتراف الجناح مهم في السرعات العالية، فهل يمكن زيادة الاجتراف مع زيادة السرعة؟ بالفعل هذا هو مبدأ الجناح متغير الاجتراف (Variable sweep wing) حيث يمكن تغيير الاجتراف في أثناء الطيران، الشكل 7.

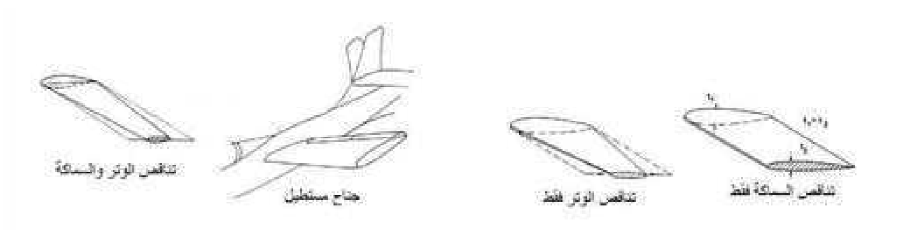
وقبل الانتقال إلى الموضوع التالي في الأجنحة، لا بد من كلمة سريعة حول الأجنحة المثلثية الشكل أو "أجنحة دلتا"، التي سُمّيت كذلك لأنها تأخذ شكل الحرف اليوناني دلتا (Δ). فهذه الأجنحة صُممت للطيران فوق الصوتي، حيث زيد فيها تراجع الأجنحة زيادة كبيرة، وصُغِّرت النسبة الباعية، فاندمج الجناح مع الذيل الأفقي للحصول على المساحة المناسبة للأجنحة. ومع أن أجنحة دلتا صُممت في البداية لتكون الطائرة بلا ذيل (Tailless delta)، إلا أنه ظهرت بعد ذلك أشكال أخرى للأجنحة المثلثية لتحل بعض المشكلات المصاحبة لذلك التصميم. وفي الشكل 8 بعض هذه التصميمات، وهي أجنحة دلتا مع ذيل (Tailed delta)، أجنحة دلتا المقصوصة الأطراف (Cropped delta)، أجنحة دلتا المزدوجة أو (Double delta)، أجنحة دلتا السهمية (Cranked arrow)، أجنحة دلتا المقوسة (Ogival delta)، أجنحة دلتا مع "كنار" (Canard delta)، والكنار (Canard) هو الذيل (الأفقي) عندما يتقدم على الجناح. وهناك تصميمات أخرى أيضًا، كأن تجد دلتا مع ذيل وكنار، ودلتا سهمية مع كنار، إلخ.



الشكل 7 | جناح متغير الاجتراف



الشكل 8 | أجنحة دلتا

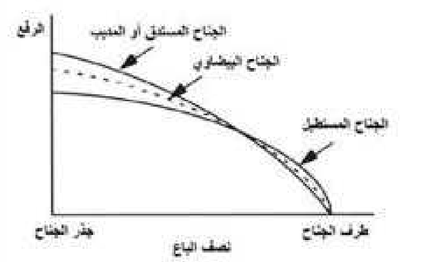


الشكل 9 | استدقاق الجناح

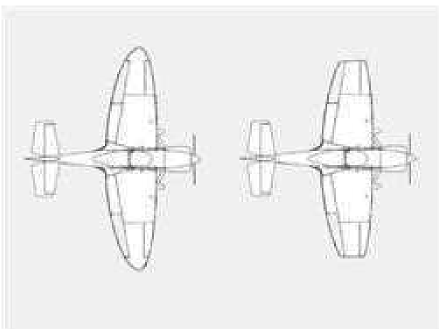
استدقاق الجناح

الاستدقاق أو التدبب (Taper) في الجناح (أو غيره من الأجزاء الإنشائية المماثلة) هو تناقص وتره على طوله، أي يكون الوتر عند طرف الجناح أصغر منه عند جذره (أي عند بدايته من بدن الطائرة)، ويقال عنه جناح مستدق أو مدبب (Tapered wing). وإذا لم يكن مستدقًا فهو جناح مستطيل (Rectangular wing). والاستدقاق يمكن أن يحصل في السماكة فقط، أي تتناقص السماكة على طول الجناح، ويمكن أن يحصل في الوتر فقط، أو يحصل في كليهما معًا. ويوضح الشكل 9 هذه الأوضاع. وهناك مزايا لاستدقاق الجناح، أولها ضبط الحِمل على الجناح، بحيث ينقص الحِمل على طول الجناح، لأن الحِمل على طرف الجناح يزيد من عزم انحناء الجناح مما يستدعي أن يكون إنشاء الجناح قويًا كله، فيزداد وزنه. لكن من مساوئ الجناح المستدق أنه أصعب في التصنيع، ولذا فإن الطائرات الصغيرة تستخدم الأجنحة المستطيلة، أو قد يكون الجناح مستطيلًا إلى منتصفه مثلًا ثم يبدأ بالاستدقاق.

هناك سبب آخر لاستدقاق الجناح، وهو ضبط الرفع على طول الجناح لتقليل الكبح. فالرفع على الجناح متناسب مع كمية الهواء التي يحرفها الجناح مضروبة بالسرعة الرأسية للهواء. وهذه الكمية من الهواء، والرفع أيضًا، يتغيران على طول الجناح. ومنذ ثلاثينيات القرن الماضي، وحسب مبادئ التحريك الهوائي (الإيروديناميكس) التقليدي، عُرف أن قوة الرفع تتغير من جذر الجناح إلى طرفه بنحو منحنى إهليلجي (بيضاوي أو قطع ناقص)، الشكل 10. ومن مبادئ التحريك الهوائي أيضًا أن المحافظة على سرعة الانحراف السفلي (Downwash velocity)، أي المحافظة أيضًا على زاوية الهبوب على طول الحافة الخلفية



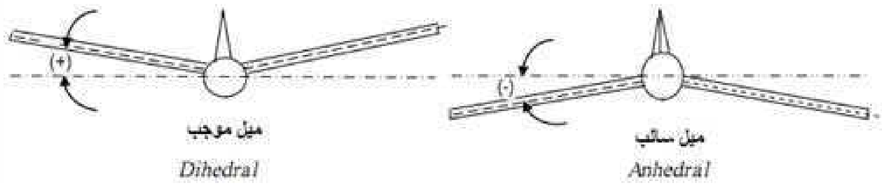
الشكل 10 | توزع الرفع على طول نصف الباع



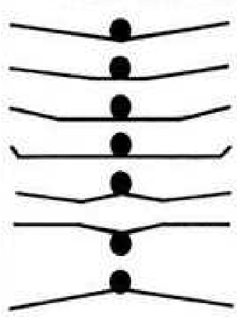
الشكل 11 | جناح إهليلجي



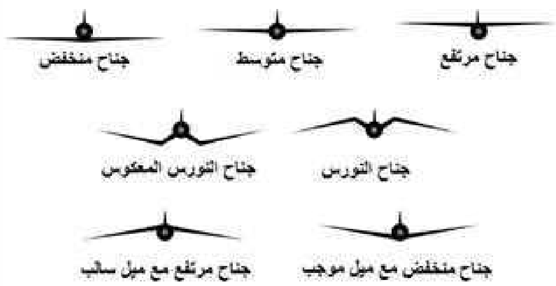
الشكل 12 | التواء الجناح



الشكل 13 | زاوية ميل الجناح



الشكل 14 | أنواع ميل الجناح



الشكل 15 | موضع الجناح من البدن

للجناح ثابتة، تؤدي إلى جعل قوة الكبح الحثي أقل ما يمكن. ومن هنا نرى أن بعض طائرات ذلك الزمان صُنعت بجناح إهليلجي أو بيضاوي، الشكل 11. والشكل 10 يوضح توزع الرفع على طول نصف الباع للجناح المستطيل، والجناح الإهليلجي، والجناح المستدق، ومنه يتضح أن الرفع على طرف الجناح في الجناح المستطيل هو أكبر الثلاثة، في حين أن الجناح المستدق يخفف الحِمل عن طرف الجناح. والانحراف السفلي أو الاجتراف السفلي (Downwash) هو انحراف الهواء نحو الأسفل خلف سطح الجناح (أو ما شابهه من أجزاء تولد الرفع)، ويقاس بالزاوية خلف الحافة الخلفية في مستوٍ موازٍ لمستوي التناظر في الطائرة، وهو متناسب مباشرة مع مُعامل الرفع.

التواء الجناح

التواء الجناح (Wing twist) هو تغير زاوية سقوطه (Incidence angle) على طوله، مما يعني تغير زاوية الهبوب أيضًا، ويكون هذا من أجل توزيع الرفع على الجناح توزيعًا أفضل. وعندما تتناقص زاوية السقوط من الجذر (Root) إلى الطرف (Tip) يُسمى هذا اجتراف إلى الخارج (Washout or wash-out)، ويُسمى الالتواء سالبًا. وعندما تزداد زاوية السقوط من الجذر إلى الطرف يُسمى اجترافًا إلى الداخل (Wash-in)، ويُسمى الالتواء موجبًا. والاجتراف إلى الخارج يخفف الحِمل على طرف الجناح. وهناك ميزة أخرى، فعندما تكون زاوية الهبوب عند الجذر أكبر منها عند الطرف تؤدي إلى انهيار الجناح عند الجذر أولًا. ولأن الجنيحات (Ailerons) التي تتحكم بالعُطوف (دوران الطائرة حول محورها الطولي) تكون في الجهة الخارجية من الأجنحة، فإنها تبقى فعالة حتى عندما ينهار الجذر. أما إذا انهار الطرف أولًا فإن الطيار سيفقد التحكم بالطائرة في أثناء الانهيار، مما يُدخل الطائرة في انهيار تدويمي أو حلزوني (Stall spin)، في حين أنه في الحالة الأولى سيتحكم الطيار بالطائرة ويمنع الانهيار التدويمي.

ومع أن الطائرات الصغيرة تُصمم مع هذا الالتواء الهندسي، إلا أن الطائرات الأكبر تُصمم مع التواء إيروديناميكي (Aerodynamic twist)، وهذا يكون بتغيير المنساب الهوائي من الجذر إلى الطرف، أي أن مقطع الجناح من الجذر إلى الطرف ليس منسابًا هوائيًا واحدًا، بل يُغيَّر على طول الجناح. فمثلًا يمكن للمصمم أن يقلل من تقوس مقطع الجناح من الجذر إلى الطرف بهدف تخفيف الحمل على الطرف وجعل الطرف لا ينهار عندما ينهار الجذر، مما يعطي النتيجة نفسها التي نحصل عليها بالالتواء الهندسي. ويوضح الشكل 12 كلا الالتواءين.

ومن المفيد الإشارة إلى أن المقصود بالتواء الجناح هنا هو الالتواء الذي يجعل أثناء التصميم، لأن هناك التواء يحصل في الجناح بسبب الحِمل، وهذا ليس مبحوثًا هنا.

زاوية ميل الجناح

إن هيئة الجناح (Wing configuration) عند النظر للطائرة من الأمام تؤثر على استقرار الطائرة وكفاءتها وسهولة قيامها بمناوراتها. ومن هذه الأمور زاوية ميل الجناح (Dihedral)، وهي الزاوية بين الجناح والخط الأفقي المرسوم من بدن الطائرة. فإذا كان الجناح يرتفع من الجذر إلى الطرف عن الخط الأفقي تكون الزاوية موجبة، وفي الحالة العكسية أي عندما ينخفض الجناح عن الخط الأفقي تكون سالبة وتُسمى (Anhedral)، والشكل 13 يوضح الفرق بينهما. إن الميل الموجب للجناح يعزز الاستقرار (Stability) في الطائرة. فلماذا إذن يكون لبعض الطائرات الحربية والطائرات البهلوانية زاوية ميل سالبة لأجنحتها؟ والجواب هو أن زيادة الاستقرار تؤدي إلى نقصان القدرة على المناورات، وعندما نجعل الطائرة أقل استقرارًا فإنها تصبح أكثر قدرة على المناورة.

إن زاوية ميل الجناح قد تكون كبيرة (Sharp) أو وسطًا (Moderate) أو صغيرة (Slight)، أما الميل نفسه فله أنواع عديدة حسبما يريد المصمم. والشكل 14 يوضح بعض هذه الأنواع.

الجناح العالي والجناح المنخفض

الجناحان يمكن أن يتصلا ببدن الطائرة في أعلاه، أو في أسفله، أو في منتصفه. ويوضح الشكل 15 كلاً من الجناح المرتفع (High wing) والجناح المتوسط (Mid wing) والجناح المنخفض (Low wing) إضافة إلى أنواع أخرى من الأجنحة كجناح النورس (Gull wing) وجناح النورس المعكوس (Inverted gull wing). وعمومًا فإن تأثير موضع الجناح على استقرار الطائرة بسيط إلى حد كبير، حيث يعطي الجناح المرتفع (بلا ميل سالب) استقرارًا أفضل بقليل من الجناح المنخفض، ولذا فإن اختيار موضع الجناح يعتمد على أمور

أخرى عملية. ففي الطائرات الصغيرة، يقول الطيارون الذين يطيرون بطائرات منخفضة الجناح بأنها تعطيهم رؤية أفضل للسماء، في حين يقول الطيارون الذين يطيرون بطائرات مرتفعة الجناح بأنها تعطيهم رؤية أفضل للأرض، إضافة إلى أنها تؤمِّن لهم ظلًا من الشمس داخل مقصورتهم. ومن الناحية العملية فإن الطائرات ذات الأجنحة المرتفعة تجعل من الممكن لبدن الطائرة أن يقترب من الأرض، فمثلًا طائرات النقل العسكرية (Military transports) تكون ذات أجنحة مرتفعة لتسمح بتحميل العتاد أو تنزيله بسهولة. وكذلك فإن القلابات والجنيحات يمكن تحريكها على الأجنحة المرتفعة دون خوف من تداخلها مع الأرض. لكن في هذه الطائرات يصعب تعليق عدة الحط (عجلات الهبوط) بالأجنحة، لأنها ستكون طويلة، وبذلك لا بد من تعليقها ببدن الطائرة، مع وجود بعض الطائرات التي تُعلق فيها عدة الحط بالأجنحة المرتفعة. وينبغي للمصمم أن يلحظ ضرورة أن تكون مؤخرة بدن الطائرة مرتفعة عن الأرض كي لا تضرب الأرض عند الدوران للإقلاع، وهذا بالطبع يأخذ من الحجم المتاح لوضع الأمتعة.

الأجنحة المنخفضة تجعل تعليق عدة الحط بها أسهل، ولكن عندما تكون المحركات معلقة على الأجنحة فيجب أن تكون عدة الحط طويلة بما فيه الكفاية لمنع تداخل الأرض مع المحركات. ومن مزايا الأجنحة المنخفضة أن يكون عضد الجناح (Spar) مستمرًا عبر بدن الطائرة تحت مقصورة الركاب. والعضد هو أهم الأجزاء الإنشائية الداخلية للأجنحة، وهذا الوضع يجعل الجناح عتبة معلقة من طرف واحد ولا تحتاج لأعمدة خارجية ساندة أو دعامات كحال كثير من الأجنحة المرتفعة.

أما الأجنحة المتوسطة فهي مستخدمة في بعض الطائرات المقاتلة وبعض الطائرات البهلوانية. ومن مزاياها أنها تعطي فرصة لتعليق التسليح أسفل الأجنحة مع المحافظة على الرؤية فوق الأجنحة، إضافة إلى أن هذا الشكل يجعل قوى الكبح أقل ما يمكن. لكن تعليق هذه الأجنحة ببدن الطائرة يكون في منتصف البدن، وبذلك ستستمر إنشاءات الجناح عبر البدن، فيحصل إعاقة لما يمكن أن يوضع في البدن في تلك المنطقة.

أطراف الأجنحة

تؤثر أطراف الأجنحة على الرفع المتولد عن الجناح وعلى توزعه على طول الجناح، فتؤثر على كفاءة الجناح وفعاليته. لذا فإن تصميمها صار موضوعًا مهمًا، علمًا بأن اختيار الأطراف المناسبة مسألة فيها موازنة بين عدة أمور، منها: الأداء الآيروديناميكي، والحِمل المطبق على الإنشاء، وطرق التصنيع، وغير ذلك من الاعتبارات.

كانت أجنحة الطائرات في الماضي ذات أطراف مدوّرة (Rounded wingtips) لسهولة تصنيعها، الشكل 16. لكن تبين فيما بعد أن الأطراف غير المدورة أكثر فعالية من الناحية الآيروديناميكية، حيث تتحكم بنحو أفضل في مرور الهواء عالي الضغط من أسفل الجناح إلى منطقة الهواء منخفض الضغط أعلى الجناح، إذ أن هذا التسرب من أطراف الجناح يولد دوامات في الطرف ويؤثر على الرفع.

الطائرات الحديثة الآن صار لها جُنيحات ثانوية على أطرافها (Winglets)، والجنيح الثانوي هو مقطع انسيابي متَّجه إلى أعلى عند طرف الجناح يقوم بتحسين كفاءة الجناح بتقليل الدوّامات الطرفية واستنقاذ بعض الطاقة المفقودة فيها، الشكل 17. وهناك من يقول بأن هذه الجنيحات لو أضيفت إلى طول الجناح، بدلاً من أن تكون متجهة للأعلى، لأعطت النتيجة نفسها من حيث زيادة الرفع الفعال في الجناح حيث سيزداد باع الجناح ومساحته. لكن زيادة باع الجناح قد تكون مشكلة أحيانًا في بعض حظائر الطائرات (Hangar) في المطارات. وعلى كل حال هناك أسباب أخرى تسويقية بحتة لوضع جنيحات الأطراف بدلًا من زيادة الباع. فشكل الجنيحات جذاب، وخصوصًا في طائرات رجال الأعمال، حيث يُعد هذا الشكل دليلًا على أن الطائرة حديثة!

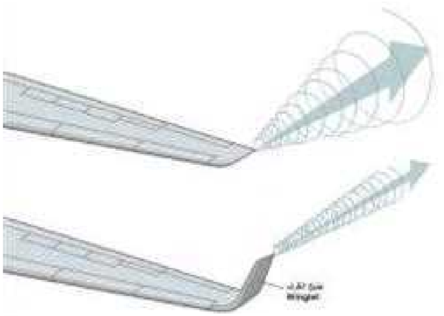
إن وجود جنيحات الطرف يتطلب زيادة متانة إنشاءات الأجنحة وزيادة وزنها وفقًا لذلك، لكن هذه الزيادة أقل من الزيادة المطلوبة لزيادة باع الجناح. وبذلك فإن هذه الجنيحات الطرفية لا يمكن تركيبها على الطائرات المصممة أصلًا بلا هذه الجنيحات، إذ يتطلب الأمر زيادة متانة إنشاء الأجنحة. أخيرًا، ينبغي الإشارة إلى وجود حلول أخرى لأطراف الأجنحة، مثل ما يُسمى سياج طرف الجناح (Wingtip fence)، وهذه الجنيحات عند الطرف تمتد لأعلى ولأسفل الجناح، الشكل 18، وكذلك ما يُسمى أطراف الجناح المجروفة (Raked wingtips)، وهذه أطراف ذات زاوية اجتراف أكبر من زاوية اجتراف الجناح نفسه، الشكل 19.

طائرة الكنار

طائرة الكنار (Canard) يتقدم ذيلها الأفقي (Tailplane) والرافعة (Elevator) على الجناح فيكونان في المقدمة في حين تبقى الزعنفة (Fin) والدَّفة (Rudder) في المؤخرة. وهذه التسميات هي التسميات البريطانية، وفي المصطلحات الأمريكية يُسمى الذيل الأفقي (Horizontal stabilizer) أي الموازِن الأفقي، والزعنفة (Vertical stabilizer) أي الموازِن الرأسي. أما كلمة (Canard) فهي فرنسية وتعني البطة (Duck). وفي الحقيقة فإن طائرة الأخوَين رايت كانت طائرة كنار.



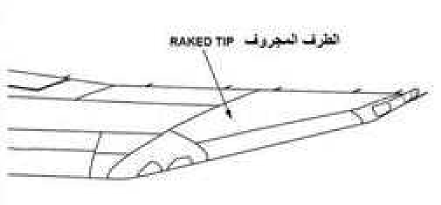
الشكل 16 | طرف جناح مدور



الشكل 17 | الجنيح الطرفي



الشكل 18 | سياج الطرف



الشكل 19 | الطرف المجروف

وسبب ذكر طائرة الكنار هنا هو أن الموازِن الأفقي المتقدم يولّد قوة رفع فيساعد الأجنحة في هذا، أي يخفف قوة الرفع عليها. وتصمم هذه الطائرات بحيث يحصل الانهيار في الموازِن الأفقي قبل الأجنحة. فإن حدث الانهيار في الأجنحة قبل الموازِن الأفقي، تنزل مؤخرة الطائرة، فتزيد زاوية الهبوب أكثر ويتعزز الانهيار، ويستحيل استرجاع التحكم بالطائرة، في حين أنه عندما ينهار الموازِن الأفقي أولًا، تنزل مقدمة الطائرة فلا ينهار الجناح. وهذه الميزة هي التي أعادت طائرة الكنار إلى الساحة بعد أن اختفت ردحًا من الزمن ■

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الثانية – العدد 11 – تشرين الثاني (نوفمبر) 2016
www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

استقرار الطائرة





أجهزة الرفع العالي



أ.د. محمود نديم نحاس

خبير في هندسة الطيران

ما هي أجهزة الرفع العالي؟

أجنحة الطائرة هي المسؤولة عن توليد قوى الرفع (Lift) التي تحمل الطائرة في الهواء. وتصميم الأجنحة يخضع لعدة عوامل. فمن الممكن تكبير الأجنحة من أجل زيادة قوى الرفع، لكن تكبير الأجنحة يزيد أيضًا من قوى الكبح أو المقاومة الهوائية (Drag)، وهذا يؤدي إلى انخفاض أداء الطائرة في الجزء المهم والأطول من طيرانها، وهو الطيران المطرد (Cruising flight). ولهذا فإن تصميم الأجنحة ومقاسها يتم بالشكل الأمثل الذي يحقق مختلف المتطلبات.

في مرحلتي الإقلاع والهبوط (أو الحط) تحتاج الطائرة إلى قوى رفع أكبر من أجل أن تختصر المسافة المطلوبة للإقلاع أو للهبوط. فمن معادلة قوة الرفع المعروفة:

$$= \frac{1}{2} \quad ^{2}$$

وفي حالة الإقلاع تبدأ سرعة الطائرة بالازدياد من الصفر، ولن تستطيع الأجنحة أن تنتج قوة الرفع التي تتغلب على وزن الطائرة لتقلع إلا بعد أن تبلغ السرعة قيمة كبيرة جدًا، وهذا يعني أنها تبقى تتدحرج على الأرض لمسافة طويلة. فكيف يمكن زيادة قوة الرفع لتحمل الطائرة في الجو في مسافة قصيرة من التدحرج على الأرض؟ هناك حلّان: زيادة مساحة الأجنحة، أو زيادة مُعامل الرفع. والحل الثالث هو زيادتهما معًا. ومن هنا جاءت فكرة أجهزة الرفع العالي (High-lift devices) التي هي أجزاء متكاملة مع الجناح، بعضها يزيد مُعامل الرفع فقط، وبعضها يزيد المساحة ومُعامل الرفع معًا.

كذلك في مرحلة الهبوط، فالطائرة يجب أن تبقى محمولة جوًا حتى تلمس عجلاتها أرض المدرج، أي أن قوى الرفع تستمر في العمل حتى لا تسقط الطائرة على الأرض سقوطًا. فإذا لم تُزد قوة الرفع بواسطة أجهزة الرفع العالي، فمعنى هذا أن الطائرة تصل إلى الأرض بسرعة كبيرة جدًا، ولكي تقف تحتاج لمدرج طويل جدًا.

وأجهزة الرفع العالي متعددة، وسأتطرق لها فيما سيأتي. فمثلًا في طائرة البوينغ 747-400، تعمل أجهزة الرفع العالي على زيادة مساحة الجناح بمقدار 21% وتزيد الرفع بمقدار 90%، مما يجعل الطائرة تقلع عند سرعة مقدارها حوالي 300 كم/ساعة وتهبط عند سرعة مقدارها حوالي 280 كم/ساعة مستخدِمة مدارج المطارات الدولية ذات الأطوال القياسية، في حين أنها تطير في الجو بسرعة 900 كم/ساعة.

جريان الهواء على الجناح والطبقة الحدية

لدراسة بعض المفاهيم المتعلقة بتصميم أجنحة الطائرة، لاسيما أجهزة الرفع العالي، فمن الضروري التطرق قليلًا إلى جريان الهواء، وخصوصًا إلى الطبقة الحدية أو الطبقة المتاخمة للجناح (Boundary Layer). ويوضح الشكل 1 الطبقة الحدية لجريان الهواء حول مقطع الجناح. ولإظهارها فقد كُبِّرت سماكتها كثيرًا، لكنها في الحقيقة طبقة رقيقة السماكة بالنسبة لأبعاد المقطع العرضي للجناح. فمثلًا في طائرة البوينغ

747-400، تبلغ سماكة الطبقة الحدية قرب الحافة الخلفية للجناح عند الجذر (حيث تكون هي الأسمك في هذه المنطقة) حوالي 15 سم حيث طول وتر الجناح عند الجذر تساوي أكثر من 10 أمتار. هذه الطبقة الحدية لا بد منها في أي جريان للموائع بجوار الأجسام. فالنقطة الملاصقة للجسم تكون فيها سرعة الجريان صفرًا، وتزداد تدريجيًا إلى قيمة السرعة الحرة للجريان مع انتهاء الطبقة الحدية، وهذا موضح في الدائرة المكبَّرة في الشكل 1، وذلك بسبب الاحتكاك بين جزيئات الهواء وسطح الجناح.

إن انخفاض السرعة قرب السطح تعني انخفاض الطاقة الحركية، وزيادة الطاقة الحركية في الطبقة الحدية عامل مهم للإبقاء على استمرار الجريان حول الجناح ومتابعته لشكل الجناح مع أن الضغط يزداد تدريجيًا باتجاه الحافة الخلفية للجناح. والجريان باتجاه الضغط المرتفع لا بد من أن يخفف من سرعته، فإذا كانت الطبقة الحدية ذات طاقة حركية كافية تتغلب على الضغط المرتفع ويستمر الجريان متابعًا شكل الجناح. أما إذا كانت الطاقة الحركية للطبقة الحدية غير كافية، فلن يستمر الجريان، بل سيحصل انفصال للجريان (Separation) عند نقطة معينة على السطح العلوي للجناح. وبعد هذه النقطة ينقلب الجريان إلى جريان مضطرب (Turbulent flow) في حين كان قبل ذلك جريانًا صفيحيًا (Laminar flow)، الشكل 2. والجريان المضطرب يزيد من قوى الكبح حيث يزداد الاحتكاك السطحي بين الجريان وسطح الجناح. وبالمناسبة فإن الجريان المضطرب في الطبقة الحدية للجناح لا علاقة له باضطراب الهواء بسبب الظروف الجوية، فذاك اضطراب من نوع آخر يسميه الناس المطبات الهوائية، وسببه حركة التيارات الهوائية في الجو، والذي يشعر به الركاب بنحو واضح، ويُطلب منهم أن يربطوا أحزمة الأمان في حالة دخول الطائرة فيه.

عندما تكون زاوية الهبوب صغيرة لا يحصل هذا التحول في الجريان، ومع ازدياد زاوية الهبوب يبدأ الانفصال، وتكون نقطة الانفصال في البداية قرب الحافة الخلفية للجناح، وتتقدم نقطة الانفصال إلى الأمام تدريجيًا مع زيادة زاوية الهبوب، إلى أن تصل زاوية الهبوب إلى قيمتها الحرجة المسماة زاوية هبوب الانهيار (Stall or stalling angle of attack) ويصل مُعامل الرفع إلى قيمته القصوى (Maximum lift coefficient)، الشكل 3، فيحصل انفصال كامل للجريان، الشكلان 4 و5. فإذا زادت زاوية الهبوب عن قيمتها الحرجة يدخل الجناح في حالة انهيار الرفع (Stall)، وتهوي الطائرة. والسرعة التي تهوي عندها الطائرة هي أقل سرعة طيران ممكنة لها وتُسمى سرعة الانهيار (Stall or stalling speed). وجدير بالذكر أن زاوية هبوب الانهيار ليست معروفة للطيار، وإنما يعرف السرعة التي تنهار عندها طائرته، فيجب أن يحافظ دومًا على سرعة أعلى منها بمقدار معين كي لا يحصل الانهيار.

في حالتي الإقلاع والهبوط، حيث سرعة الطائرة منخفضة، يجب أن يزداد مُعامل الرفع لتوليد قوة الرفع المناسبة، وهذا يعني أن زاوية الهبوب يجب أن تزداد. لكن لكل منساب هوائي قيمة حرجة لزاوية الهبوب (هي زاوية هبوب الانهيار) يقابلها قيمة قصوى لمُعامل الرفع. فكيف يُتغلب على هذه المشكلة؟ هنا يأتي دور أجهزة الرفع العالي التي نستعرضها فيما يلي.

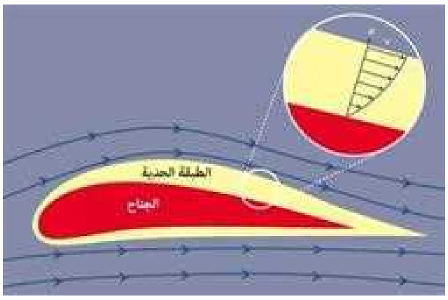
أجهزة الرفع العالي

هي أجزاء متكاملة من أجنحة الطائرة هدفها زيادة مُعامل الرفع الأقصى للأجنحة وزيادة زاوية هبوب الانهيار، وبذلك تُنقص سرعة انهيار الطائرة قدر المستطاع، مما يمكِّن الطائرة من خفض سرعتها إلى مستوى أقل من سرعة الانهيار بلا أجهزة الرفع العالي. وهذا مهم جدًا في مرحلتي الإقلاع والهبوط، حيث تحتاج الطائرة للطيران على أقل سرعة ممكنة، لأن الإقلاع والهبوط على سرعات عالية يعني مدارج طويلة جدًا في المطارات، وهو أمر متعذر. ومن هنا جاءت فكرة تغيير خواص المنساب الهوائي للجناح عند الطلب (أي في مرحلتي الإقلاع والهبوط) ليؤدي المهمة، في حين يحافظ على خواصه في مرحلة الطيران المطرد ليبقى أداؤه عاليًا.

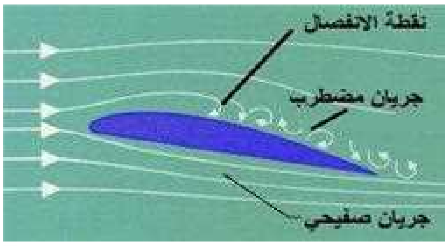
الفكرة الأولى لأجهزة الرفع العالي جاءت وفق ما ذُكر من تغيير خواص المنساب الهوائي للجناح عند الطلب. وقد ذكرنا عند الحديث عن أجنحة الطائرة أن تقوس الجناح (Camber of a wing) هو مقياس لعدم تناظره، أي عدم تماثل سطحه العلوي وسطحه السفلي، وذكرنا أنه عندما يزيد التقوس يزداد الرفع قبل أن يبدأ الانهيار. ويوضح الشكل 6 مقارنة بين منحنى مُعامل الرفع لمنساب هوائي متناظر ومنساب هوائي مقوّس ومنساب هوائي مرتفع التقوس. ويُلاحظ في المنساب الهوائي المتناظر أن الرفع معدوم عندما تكون زاوية الهبوب صفرًا، في حين أن هناك رفع عند هذه الزاوية للجناح المقوّس، ويصبح الرفع صفرًا عند زاوية هبوب سالبة، مما يعني أن زاوية الهبوب الفعلية (المطلقة) أكبر من زاوية الهبوب الهندسية، أي الزاوية بين اتجاه الطيران ووتر المنساب الهوائي، الشكل 6.

القلاّبة البسيطة أو القلاّبة ذات المفصل

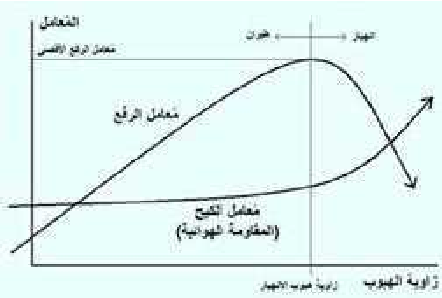
كيف يمكن أن نزيد من تقوس الجناح عند الطلب؟ بدأت الفكرة بجعل الحافة الخلفية للجناح قابلة للنزول عند الطلب، حيث تستطيع الدوران حول مفصل. وسُمّي هذا الجزء من الجناح بالقلاّبة



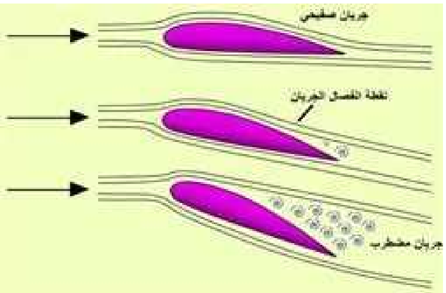
الشكل 1 | الطبقة الحدية



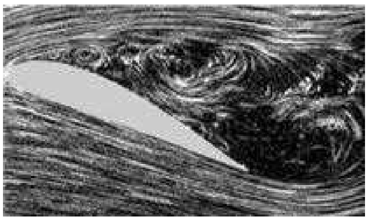
الشكل 2 | تحول الجريان من صفيحي إلى مضطرب

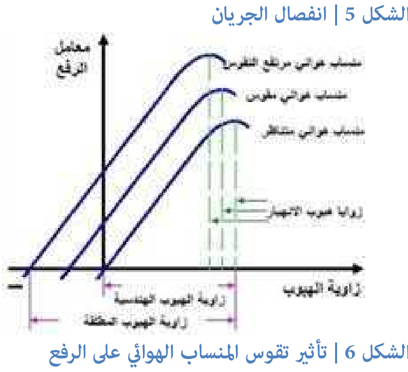


الشكل 3 | مُعامل الرفع



الشكل 4 | انفصال الجريان كليًا


الشكل 5 | انفصال الجريان



الشكل 6 | تأثير تقوس المنساب الهوائي على الرفع

(Flap). ويوضح الشكل 7 قلابة جناح من هذا النوع البسيط (Plain or simple flap) أو ذات المفصل (Hinged flap) في عدة أوضاع مع إيضاح شكل الجريان حولها، ويُلاحظ كيف أنها زادت من تقوس الجناح. وهذه القلابة هي من أبسط أنواع القلابات، وتُستخدَم في الطائرات الصغيرة. وفي العادة تمتد القلابة من منطقة قريبة من جذر الجناح، أي قريبًا من بدن الطائرة، إلى مسافة معينة وليس على طول الجناح، حيث تترك مكانًا للجُنيحات (ailerons) التي سنتحدث عنها عند الحديث عن التحكم في الطيران. والقلابة تكون على الجناحين لتحافظ على تناظر الطيران. وإلى حدود 20 درجة من دوران القلابة حول مفصلها تزداد قوة الرفع دون زيادة كبيرة في قوة الكبح (المقاومة الهوائية) عند السرعات المنخفضة للطائرة. وربما تكفي 20 درجة في حالة إقلاع الطائرة لتقصير المسافة المطلوبة للإقلاع، ولكن عند الهبوط سنحتاج لزاوية أكبر، وهذا من شأنه أن يزيد قوة الكبح. لكن هذه الزيادة في قوة الكبح مطلوبة في حالتي الاقتراب والهبوط، وبذلك فإنه يمكن زيادة زاوية القلابة إلى 40 درجة. وزاوية القلابة المقصودة هنا هي الزاوية بين وتر القلابة ووتر الجناح، حيث القلابة نفسها هي منساب هوائي.

القلابة المنفصلة

القلابة المنفصلة (Split flap) هي قلاّبة تنفصل عن الجزء الأسفل الخلفي من الجناح بواسطة مفصل، في حين يبقى السطح العلوي للجناح من دون تغيير. وهذا النوع من القلابات هو من الأنواع الأولى التي ظهرت مبكرًا في الطائرات، الشكل 8. وهي مفيدة لزيادة الرفع مع خفض سرعة الطائرة في حالة الانقضاض. وقد استُخدمت في طائرات الحرب العالمية الثانية.

القلاّبة المشقوقة أو ذات الشق

إن أقصى قوة رفع يمكن للجناح ذي القلاّبة أن يولدها محدودة بزاوية هبوب الانهيار، حيث أن الهواء الذي مرَّ فوق الجناح يفقد معظم طاقته الحركية ولابد أن ينفصل الجريان عن القلاّبة في لحظة ما ويحصل الانهيار. ومن هنا جاءت فكرة ابتعاد القلابة عن الجناح بحيث تُحدِث شقًّا بينها وبين الجناح فتسمح بمرور الهواء من السطح السفلي للجناح (ذي الطاقة الحركية العالية) إلى السطح العلوي للقلاّبة، مما يؤخر انفصال الجريان ويؤخر الانهيار. وهذه هي فكرة القلاّبة المشقوقة أو ذات الشق (Slotted flap)، الشكل 9.

القلاّبات متعددة الشقوق

القلابات متعددة الشقوق (Multi-slotted flaps) تتعدد فيها الشقوق بنحو متتال مما يزيد في مُعامل الرفع بعدد الشقوق. ويوجد منها القلاّبة مزدوجة أو ثنائية الشقوق (double-slotted flap)، والقلابة ثلاثية الشقوق (triple-slotted flap)، وكلتاهما موضحة في الشكل 10. والقلابات ثلاثية الشقوق مستخدَمة في طائرات البوينغ 747.

ومن مساوئ هذه القلابات تعقّد الآلية الميكانيكية التي تحركها، الشكل 11، وضرورة أن تكون خارج الأجنحة حيث لا يمكن استيعابها داخل إنشاءات الجناح. وهذا واضح في الأجزاء الملونة بالبرتقالي في الشكل 11، وهذا كله يزيد في وزن الأجنحة.

قلاّبة فاولر

اخترعها (Harlan D. Fowler) سنة 1924. وهي في الحقيقة مزيج مما ذُكر من أنواع القلابات. وأهم ما فيها أنها لا تدور لتزيد في تقوس الجناح فحسب، بل تنسحب أولًا إلى الخلف لتزيد في وتر ومساحة الجناح. والقلابة نفسها قد تكون جزءًا من السطح العلوي للجناح كالقلابة البسيطة أو تنسحب من الجزء السفلي للجناح كالقلابة المنفصلة، وفي كل الأحوال يجب أن تنسحب للخلف قبل أن تدور للأسفل. ويمكن أن تكون ذات شق أو تكون متعددة الشقوق، الشكل 12. ومازالت مستخدَمة في الطائرات الحديثة مع تعقيد آلية عملها، وهذا ما سبق أن ذكرناه في الفقرة السابقة، الشكل 13. ويُلاحظ في هذا الشكل أن القلابة مقسومة إلى قسمين لأسباب تتعلق بالتصميم.

قلابة جنكرز

قلابة (Junkers flap)، الشكل 14، تثبت تحت الحافة الخلفية للجناح، وتدور حول حافتها الأمامية. وعندما تكون في وضعها الأعلى تكون قوى الكبح عليها أعلى من غيرها من القلابات، لكن عندما تنزل فهي أكثر فعالية في توليد قوى الرفع من القلابة البسيطة والقلابة المنفصلة.

قلابة غوج

قلابة غوج (Gouge flap) قلابة منفصلة تنزلق إلى الخلف في مسار منحن، فتنزل للأسفل تلقائيًا مما يزيد من مساحة الجناح ومن تقوسه. ومما يميزها، عدم حاجتها لأي آلية لتحريكها سوى المسار المنحني الخاص بها. والشكل 15 يوضح هذا النوع من القلابات.

قلابة فيري - يونجمان

هذه القلابة (Fairey-Youngman flap) تنخفض إلى أسفل (أي تصبح مثل قلابة جنكرز) قبل أن تنسحب للخلف، وبعدها يمكن أن تدور حول حافتها الأمامية للأعلى أو للأسفل، الشكل 16. وعندما تدور للأعلى (أي بزاوية سقوط سالبة) تستطيع الطائرة أن تنقض رأسيًا دون الحاجة إلى تعديل زائد في توازنها.

قلابة زاب

هذه القلابة (Zap flap)، وقد تُكتب أحيانًا



الشكل 7 | القلابة البسيطة ذات المفصل



الشكل 8 | القلابة المنفصلة



الشكل 9 | القلابة ذات الشق



الشكل 10 | القلابات متعددة الشقوق



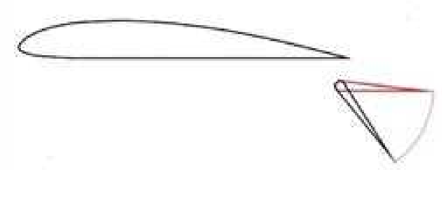
الشكل 11 | آلية تحريك القلابة



الشكل 12 | قلابة فاولر



الشكل 13 | قلابة فاولر ثلاثية الشقوق



الشكل 14 | قلابة جنكرز

(Zapp flap)، اخترعها (Edward F. Zaparka). وهي نوع من أنواع القلابات المنفصلة، لكن تتحرك حافتها الأمامية على مسار، وإحدى نقاطها موصولة بذراع له مفصل فوق المسار. وعندما تتحرك الحافة الأمامية للقلابة للخلف فإنها تدور للأسفل بحسب ما يسمح به طول الذراع، الشكل 17.

قلابة الحافة الأمامية

قلابة الحافة الأمامية (Leading edge flap) هدفها زيادة تقوس المنساب الهوائي للجناح. هنا كامل الحافة الأمامية للجناح تكون متصلة بمفاصل وتدور إلى الأسفل بزاوية سالبة بالنسبة للجناح وذلك لزيادة الرفع في السرعات المنخفضة، وتسمى الحافة الأمامية المتدلية (Droop leading edge) أو تدلي الحافة الأمامية (Leading edge droop) أو تدعى اختصارًا (Droop) فقط، الشكل 18.

قلابة كروجر

قلابة كروجر (Krüger flap) سُميت باسم مخترعها (Werner Krüger) وهي نوع من أنواع قلابات الحافة الأمامية، تدور حول مفصل من أسفل الحافة الأمامية للجناح، دون أن تكون جزءًا من الحافة الأمامية للجناح عندما تكون في الوضع الطبيعي. وعندما تدور وتنزل للأسفل تزيد في تقوس الجناح وسماكته مما يزيد في قوة الرفع. ويلاحظ من هذا التعريف ومن الشكل 19 أنها تختلف عن سابقتها التي تشكل كامل الحافة الأمامية للجناح. وهناك تصميمات مختلفة لهذه القلابة ومنها قلابة كروجر المحدّبة أو المقوسة (Cambered Krüger flap) التي يزداد تقوسها عند فتحها.

القلابة النفخية أو النفثية

القلاّبة النفخية (Blown flap) أو النفثية (Jet flap) هي نوع من أنواع التحكم بالطبقة الحدية، حيث تنفخ طبقة هوائية ذات سرعات عالية على طول السطح العُلوي للقلابة بحيث يبقى جريان الهواء ملاصقًا لها حتى عند إنزالها بزاوية كبيرة. ويمكن أن تكون داخلية النفخ (Internally blown flap) حيث ينفخ هواء مضغوط من المحرك فوق السطح العلوي للقلابة، أو تكون خارجية النفخ (Externally blown flap) حيث ينفخ عادم المحرك على السطحين العلوي والسفلي للقلابة وكذلك السطح العلوي للجناح، الشكل 20.

الشريحة والشق

الشريحة والشق (Slat and slot) أداة من أدوات الرفع العالي. والشريحة هي منساب هوائي صغير (ثابت أو متحرك) يقع مباشرة أمام الحافة الأمامية للجناح، يترك بينه وبين الجناح شقًا يسمح بمرور الهواء إلى السطح العلوي للجناح عند زوايا الهبوب الكبيرة مما يؤدي إلى تأخير انفصال الجريان وإنتاج قوة رفع أكبر. فإذا كانت الشريحة ثابتة، تظهر وكأنها جزء طبيعي من الحافة الأمامية للجناح، ويكون الشق خلفها مباشرة، الشكلان 21 و22. أما إذا كانت الشريحة متحركة فإنها تلتصق بالحافة الأمامية للجناح عند عدم الحاجة إليها ويكون الشق مغلقًا، في حين تتحرك الشريحة للأمام ويُفتح الشق عند السرعات المنخفضة. والشريحة والشق يمكن أن يمتدا على كامل باع الجناح أو على جزء من الجناح، وذلك حسب الرفع المطلوب منها عند السرعات المنخفضة. وقد تكون في منطقة الجُنيحات للإبقاء على هذا الجزء مستقرًا.

الجُنيح القلاب

الجُنيح القلاب (Flaperon) هو سطح تحكم في الطائرة يجمع بين عمل القلابة والجنيح، والتعبير مختصر من (flap-aileron).

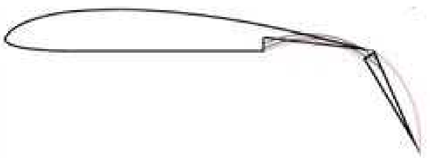
مولدات الدوامات

لقد أثبتت القلابات فعاليتها في زيادة الرفع عند الطلب في حالتي الإقلاع والهبوط. لكن في العقد الأخير من القرن العشرين بدأ التفكير في خفض التكاليف الناتجة من القلابات متعددة الشقوق، حيث تزيد في وزن الطائرة وتتطلب آليات معقدة لتحريكها كما أشرنا سابقًا. ولذا بدأ الاتجاه نحو زيادة أداء القلابات وحيدة الشق. وكان أحد الحلول هو وضع مولدات للدوامات (Vortex generators) على الحافة الأمامية للقلابة وحيدة الشق. وعندما تكون القلابة غير مستخدَمة، أي في حالة الطيران المطرد (Cruise) فإن مولدات الدوامات تكون مخفية ولا تؤثر على الطيران. أما عندما تنسحب القلابة وحيدة الشق، تبدأ مولدات الدوامات بالعمل. ومولدات الدوامات هي أرياش صغيرة مثبّتة بزوايا معينة مع اتجاه الجريان تقوم بتوليد حركة دوامية لتنشيط الطبقة الحدية وتأخير انفصالها عن السطح.

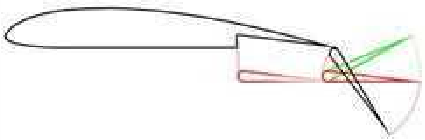
مقارنة بين أجهزة الرفع العالي

يبين الشكل 23 تأثير إضافة القلابة إلى المنساب الهوائي، حيث يرتفع منحنى مُعامل الرفع، في حين أن إضافة الشريحة والشق يؤدي إلى مد منحنى الرفع. وواضح من الشكل أن الطائرات الكبيرة لا بد لها من الاستفادة من أجهزة الرفع العالي لتستطيع الإقلاع والهبوط على سرعات منخفضة واستخدام المدارج القياسية للمطارات الدولية.

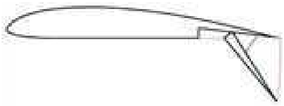
ويبين الشكل 24 مقارنة مبسطة بين الأنواع الأشهر للقلابات من حيث مُعامل الرفع، ويستطيع مصمم الطائرات أن يختار القلابة الأنسب لطائرته. أما الجدول 1 فيوضح قيم مُعامل الرفع الأقصى لبعض القلابات على منساب هوائي معين، ومقدار زيادتها عن قيمتها للمنساب الهوائي بلا قلابات ■



الشكل 15 | قلابة غوج



الشكل 16 | قلابة فيري – يونجمان



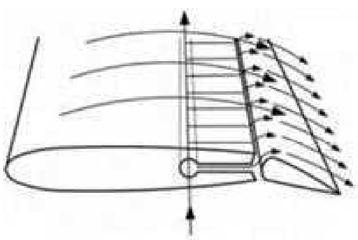
الشكل 17 | قلابة زاب



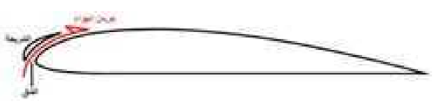
الشكل 18 | الحافة الأمامية المتدلية



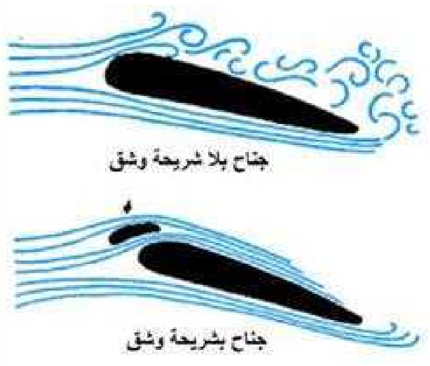
الشكل 19 | قلابة كروجر



الشكل 20 | القلابة النفخية



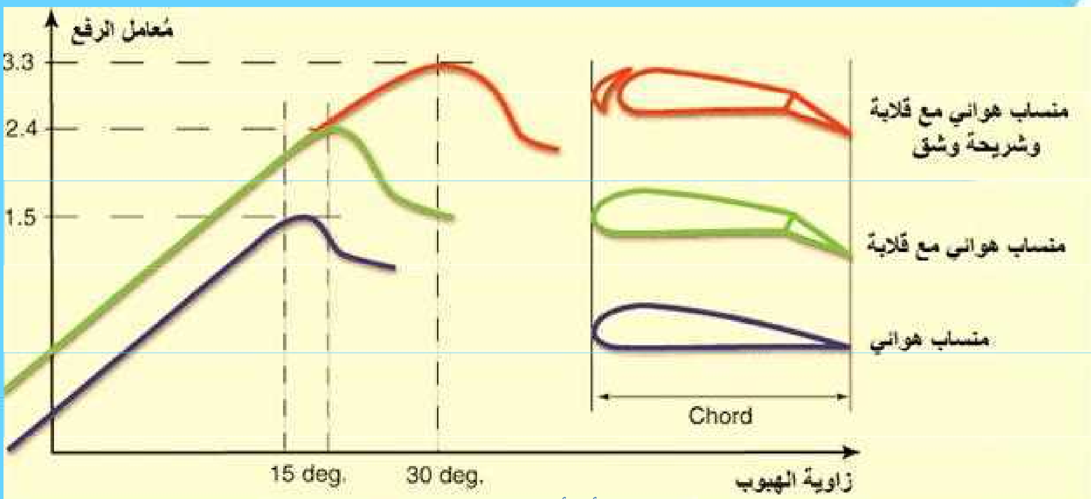
الشكل 21 | الشريحة والشق



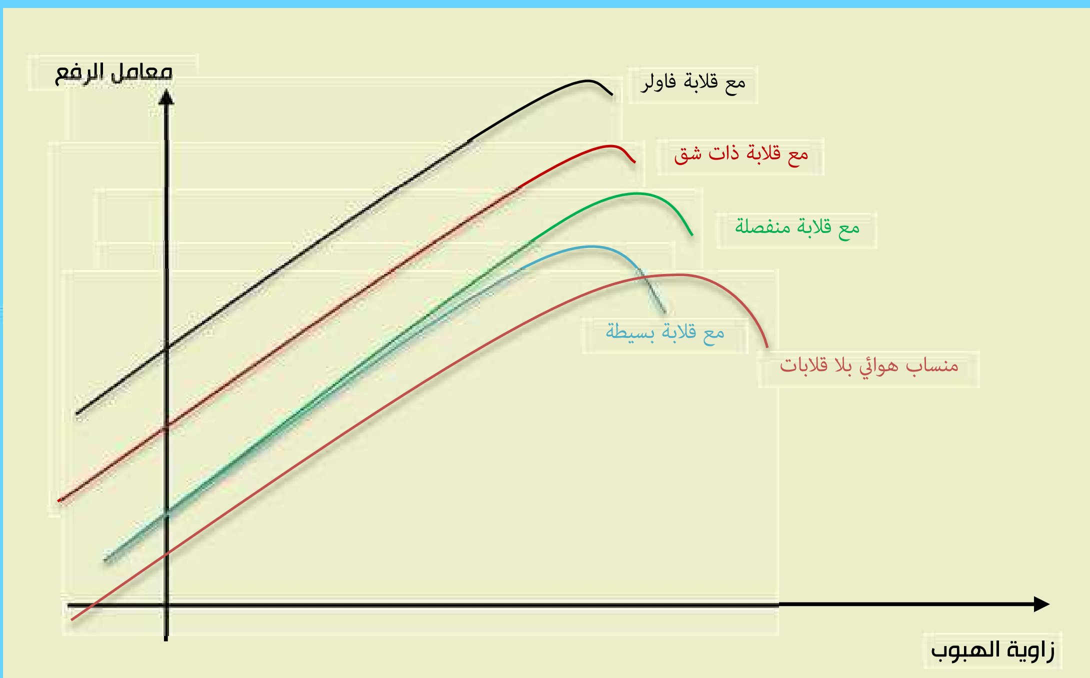
الشكل 22 | تأثير وجود الشريحة والشق

نوع القلابة	مُعامل الرفع الأقصى C_{Lmax}	الزيادة مقارنة مع منساب بلا قلابة
بلا قلابة	1.45	0
قلابة بسيطة	2.25	0.80
قلابة منفصلة	2.40	0.95
قلابة ذات شق	2.60	1.15
قلابة مزدوجة الشقوق	2.80	1.35
قلابة زاب	2.50	1.05
قلابة فاولر	2.80	1.35

لجدول 1 | قيم مُعامل الرفع الأقصى لبعض القلابات على منساب هوائي معين



الشكل 23 | تأثير أجهزة الرفع العالي على الرفع



الشكل 24 | تأثير نوع القلابة على الرفع

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الثالثة – العدد 12 – آذار (مارس) 2017

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /fligh g



صناعة الطيران الروسية

الطيران الأخضر

الطيران بسرعات عالية

الآلات الملاحية الفلكية



الطيران بسرعات عالية



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

عند دراسة الطيران بالسرعات المنخفضة نفترض أن الهواء مائع غير قابل للانضغاط (Incompressible fluid)، مع أنه قابل للانضغاط (compressible)، وتأثير ذلك الافتراض محدود جدًا في السرعات المنخفضة. إلا أن طائرات نقل الركاب اليوم، وكذا الطائرات الحربية، تطير بسرعات عالية تقترب من سرعة الصوت أو تزيد عليها، فيما يُعرف بالطيران فوق الصوتي (Supersonic Flight). وعند السرعات العالية لا يمكن إهمال انضغاطية الهواء (The compressibility of the air) لأن الهواء عندما ينضغط تتغير كثافته.

رقم ماخ

الطيران على سرعات منخفضة يُسمى بالطيران دون الصوتي (Subsonic) حيث تكون سرعة الطائرة أقل بكثير من سرعة الصوت (Speed of Sound) في الهواء المحيط بها. وما نقصده بالسرعات العالية أو السرعات المرتفعة يمكن تقسيمه إلى ثلاثة أقسام: الطيران القريب من سرعة الصوت أو حول الصوتي (transonic) وهو الطيران بسرعة أقل من سرعة الصوت لكن قريبًا منها كما هو الحال في معظم طائرات النقل المدنية والطائرات الحربية، والطيران فوق الصوتي (supersonic) وهو الطيران بسرعة أعلى من سرعة الصوت، ومن أمثلته طائرة كونكورد لنقل الركاب والطائرات الحربية، والطيران فرط الصوتي (hypersonic) وهو الطيران بسرعة أضعاف سرعة الصوت، ومن أمثلته سرعة مكوك الفضاء (Space Shuttle) عند دخوله الغلاف الجوي بعد عودته من الفضاء، وسرعة الطائرة التجريبية (X-15).

في عالم الطيران يُعبر عن سرعة الطائرة برقم ماخ (Mach Number)، وهو نسبة سرعة الطائرة إلى سرعة الصوت في الهواء المحيط بالطائرة، حيث تمثل القيمة (1) لرقم ماخ سرعة الصوت، ويكون الطيران دون الصوتي برقم ماخ أقل من (1)، والطيران حول الصوتي برقم قريب من (1)، والطيران فوق الصوتي برقم أكبر من (1)، والطيران فرط الصوتي بأضعاف الرقم (1)، حيث وصل رقم ماخ في الطائرة التجريبية (X-15) إلى رقم قياسي 6.72 عندما طارت بسرعة 7295 كم/ساعة.

على أنه ينبغي الإشارة إلى أن جريان الهواء حول الطائرة تختلف سرعته من نقطة إلى أخرى، بمعنى أن رقم ماخ يختلف من موضع لآخر حول الطائرة. فمثلاً، الطائرة التي تطير بسرعة حول صوتية، يكون الجريان حول بعض أجزائها دون صوتي، وحول بعضها الآخر فوق صوتي. أما الطائرة التي تطير

بسرعة فوق صوتية فإن الجريان حول أجزاء الطائرة كله فوق صوتي.

انضغاطية الهواء

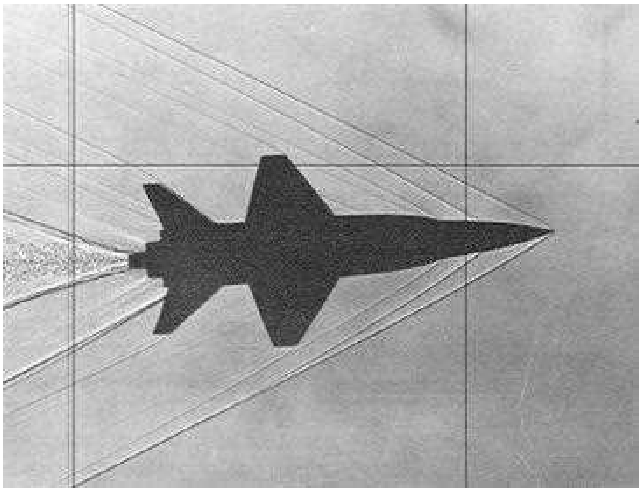
إن مبدأ إنتاج قوة الرفع في الطيران منخفض السرعة هو نفسه للطيران مرتفع السرعة، حيث يُدفع الهواء للأسفل. لكن عند السرعات العالية هناك اختلاف. ففي السرعات المنخفضة هناك حركة هواء صاعد (upwash) أمام الحافة الأمامية للجناح تعطي قوة رفع موجبة. ومع زيادة السرعة فإن حركة الهواء الصاعد تبدأ في الاختفاء، لتختفي تمامًا مع وصول السرعة إلى سرعة الصوت وتبدأ موجة ضغط (Compression wave) تُسمى موجة صدم (Shock wave) بالتشكل أمام الجناح.

ومع أن قوة الرفع في الطيران منخفض السرعة كبيرة، إلا أن تغير الضغط صغير نسبيًا، لأن انخفاض الضغط متناسب عكسًا مع زيادة السرعة، ولأنها ليست مرتفعة، فيبقى تغير الضغط ضمن الحد المعقول لافتراض الهواء مائعًا غير قابل للانضغاط. وهذا يستدعي أيضًا افتراض ثبات كثافة الهواء ودرجة حرارته.

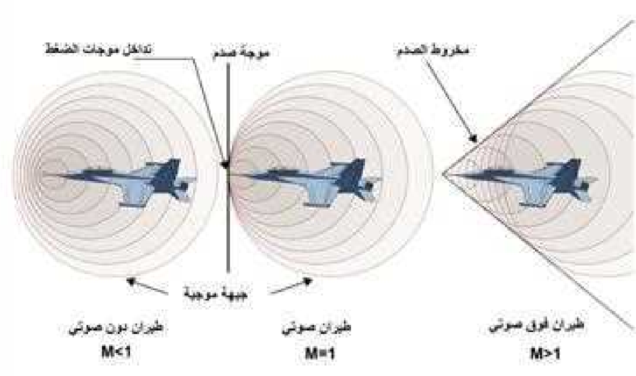
لكن عند السرعات العالية فإن تغير الضغط يصبح كبيراً، ولابد من إدخال انضغاطية الهواء في الحسبان، وهذا يعني تغير كثافة الهواء وحجمه.

هناك عنصر آخر في الجريان فوق الصوتي، وهو تشكل موجات الصدم، حيث تظهر هذه الموجات عندما تتغير سرعة الهواء أو اتجاهه بنحو مفاجئ. ويوضح الشكل 1 موجات الصدم المتشكلة في طيران فوق صوتي، في حين يوضح الشكل 2 الفرق بين الجريان دون الصوتي والجريان فوق الصوتي، حيث يولد الجسم المتحرك في الهواء سلسلة من موجات الضغط أمامه وخلفه، تمامًا كما نرى ذلك في المركب المتحرك في الماء. وهذه الموجات تتحرك بسرعة الصوت، وتكون غير متراكبة عندما تكون سرعة الجسم أقل من سرعة الصوت. وعندما تزداد سرعة الجسم تتراكب هذه الموجات معًا لأنها لا تستطيع أن تنزاح من طريق بعضها بعضًا، حتى إذا بلغت سرعة الجسم سرعة الصوت فإن هذه الموجات تندمج في موجة صدم واحدة، الشكل 2. وموجة الصدم تشكل دويًا صوتيًا (Sonic boom) هائلًا يشبه الانفجار، وهو مزعج جداً للإنسان، ويكسر الزجاج، ويسبب تلفًا لبعض الأشياء. وفي الحقيقة فإن الدوي الصوتي الناتج عن موجة الصدم هو مزدوج، ذلك لأن الدوي يحصل عند التغير المفاجئ في الضغط، وهذا التغير يحصل مرتين، مرة عندما يزداد فجأة عند مقدمة الطائرة، ومرة عندما ينخفض فجأة إلى الضغط الطبيعي بعد مرور الطائرة، الشكل 3.

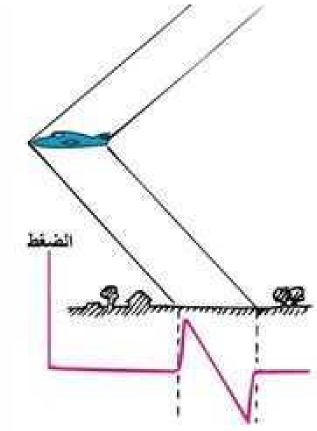
وهناك نوعان من موجات الصدم، الأولى هي الموجات العمودية على اتجاه الطيران، والنوع الثاني



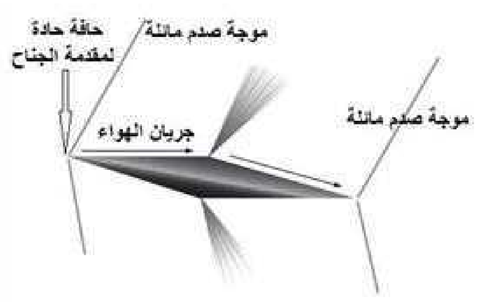
الشكل 1 | موجات الصدم في طيران فوق صوتي



الشكل 2 | الفرق بين الجريان دون الصوتي والجريان فوق الصوتي



الشكل 3 | موجتا الصدم



الشكل 4 | موجة الصدم المائلة

هو الموجات الصوتية المائلة على اتجاه الطيران. ولأن الموجة العمودية على اتجاه الطيران تسبب ضياعًا أكبر للطاقة وتسبب قوى كبح أكبر فإنها غير مرغوبة، ولذا تُصمم الطائرات فوق الصوتية لتفادي تشكيل موجات الصدم العمودية، وذلك يجعل مقدمة الطائرة ومقدمة أجنحتها ذات حواف حادة مما يؤدي إلى تشكيل موجات صدم مائلة، الشكل 4.

كبح موجة الصدم والطاقة المطلوبة

تتألف قوى الكبح أو المقاومة الهوائية (Drag) من عدة أجزاء، وقوة الكبح الحثية (Induced drag) تقل عندما تزداد سرعة الطائرة، لكن قوة الكبح الطفيلية (Parasite drag) تزداد من قبيل مكعب السرعة. وفي السرعات العالية هناك مطلب إضافي وهو التغلب على كبح الموجات (wave drag)، وهذا يتطلب زيادة في الطاقة المطلوبة، وهو عامل مهم جدًا في الطيران فوق الصوتي. وكبح الموجات ليس دالة بسيطة للسرعة بل دالة معقدة لرقم ماخ، وهو يعتمد على زاوية الموجة الصوتية مع اتجاه جريان الهواء. وقد ذكر آنفًا أن الموجة العمودية على اتجاه الطيران تسبب كبحًا أعلى وتتطلب طاقة أكبر. والموجة المائلة تزداد زاويتها مع زيادة رقم ماخ، مما يقلل من كبح الموجة. وإضافة إلى ذلك فإن كبح الموجة يتعلق أيضًا بكثافة الهواء، وهو أكبر عندما تكون كثافة الهواء أكبر، وبذلك تكون الطاقة المطلوبة أكبر. ولهذا

السبب فإن الطائرات لا تطير بسرعات عالية عند الارتفاعات المنخفضة.

الطيران حول الصوتي

تطير طائرات نقل الركاب بسرعات تقترب من سرعة الصوت برقم ماخ بين 0.8 و 0.86، أي أقل بقليل من سرعة الصوت. ومع أن هذه السرعات دون صوتية لكن الجريان فوق بعض أجزاء الجناح يصبح فوق صوتي محليًا، وليس بنحو عام على كامل وتر الجناح، والنتيجة هي تكوّن موجة صدم عمودية، الشكل 5. وهناك قيمة معينة لرقم ماخ تُسمى رقم ماخ الحرج (Critical Mach number)، إذا طارت الطائرة برقم ماخ أقل منه لا تحصل موجة الصدم هذه، حيث لا يصل الجريان لسرعة فوق صوتية في أي نقطة من الجناح، ونسمي هذا الطيران بالطيران دون الصوتي، لكن إذا تجاوزت سرعة الطائرة هذا الرقم الحرج (وهو أقل من الواحد) فإن هذه الحالة تحصل، ونسمي الطيران بالطيران حول الصوتي (Transonic).

ويوضح الشكل 6 كيف يتغير رقم ماخ على طول وتر الجناح من الحافة الأمامية إلى الحافة الخلفية للحالتين. ففي الطيران دون الصوتي يزداد رقم ماخ إلى قيمة عظمى أقل من الواحد، ثم يبدأ بالانخفاض، في حين أنه في الطيران حول الصوتي يزداد إلى قيمة أكبر من الواحد ولا يبدأ بالانخفاض إلا بعد موجة الصدم.

في الطيران حول الصوتي وفي المنطقة التي يكون فيها الجريان فوق صوتي تنخفض كثافة الهواء ودرجة حرارته. وقبيل موجة الصدم العمودية تكون درجة حرارة الهواء قد انخفضت إلى درجة كافية لتسبب التكثف، مما يشكل مخروطًا من الضباب فوق وتحت الجناح، الشكل 7.

في الطيران دون الصوتي يقع مركز الرفع (Center of lift) في ربع وتر الجناح من جهة الحافة الأمامية للجناح. لكن عند وصول الطيران إلى حول صوتي يتحرك مركز الرفع إلى الخلف ويمكن أن يصبح في منتصف الوتر، وتبدأ موجة الصدم العمودية في التشكل وينفصل الجريان عن الجناح خلفها بسبب زيادة الضغط. وهذا كله يؤدي إلى زيادة سريعة في قوى الكبح الناتجة عن الشكل وعن موجة الصدم، مما يعني زيادة في الطاقة المطلوبة. وهذه تُسمى زيادة كبح رقم ماخ واحد (Mach 1 drag rise)، الشكل 8. ويُصمم جناح الطائرة وبدنها بحيث تُشغَّل الطائرة عند النقطة المشار إليها بالشكل، أي قبيل الارتفاع الحاد في الكبح.

اجتراف الجناح

في مقالة سابقة عن أجنحة الطائرة تحدثت عن اجتراف الجناح (Wing Sweep). والاجتراف للخلف مهم جدًا في السرعات العالية (حول



الشكل 5 | طيران حول صوتي



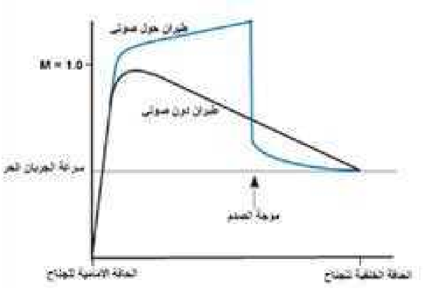
الشكل 7 | مخروط الضباب في الطيران حول الصوتي



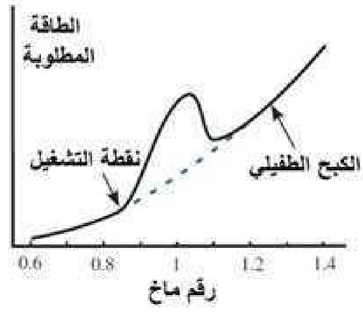
الشكل 9 | رقم ماخ الفعال

الصوتية وفوق الصوتية) وذلك لتخفيف كبح موجة الصدم. وفي الحقيقة فإن كبح الجناح المجترف للخلف ينخفض بسبب انخفاض رقم ماخ الفعال (effective Mach number) للجناح، وهو رقم ماخ العمودي على الحافة الأمامية المجترفة للخلف، أو هو رقم ماخ الذي يحس به الجناح حقيقة. وبتحليل رقم ماخ الموازي لاتجاه الطيران يتضح أن رقم ماخ العمودي على الحافة الأمامية المجترفة للخلف يكون أصغر من رقم ماخ الموازي لاتجاه الطيران، الشكل 9.

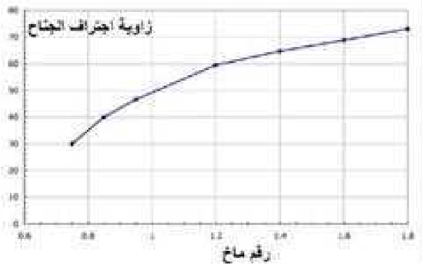
وفي السرعات فوق الصوتية يساعد الجناح



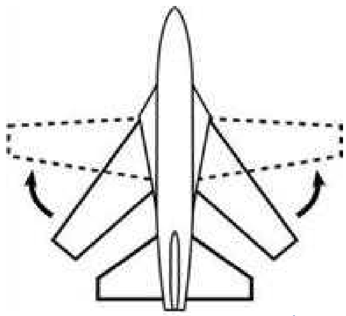
الشكل 6 | تغير رقم ماخ على طول وتر الجناح



الشكل 8 | ارتفاع الكبح قرب رقم ماخ واحد



الشكل 10 | العلاقة بين زاوية اجتراف الجناح ورقم ماخ



الشكل 11 | الجناح متغير الاجتراف

المجترف للخلف على التخفيف من شدة موجة الصدم المائلة المتشكلة عند الحافة الأمامية للجناح. وهناك علاقة بسيطة بين زاوية اجتراف الجناح للخلف وبين السرعة فوق الصوتية للطائرة، الشكل 10.

وما دام اجتراف الجناح مهم في السرعات العالية، فهل يمكن زيادة الاجتراف مع زيادة السرعة؟ بالفعل هذا هو مبدأ الجناح متغير الاجتراف (Variable sweep wing) حيث يمكن تغيير الاجتراف في أثناء الطيران، الشكل 11 ■

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

السنة الثالثة - العدد 13 - تموز (يوليو) 2017



استقرار الطائرة

طائرات اختفت دون أثر

اختبارات التمكن اللغوي

محركات الرفع العمودي

المتحف الكندي للطيران والفضاء





أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

في زيارة قصيرة لمدينة أوتاوا في كندا، اقترحت ابنتي، مضيفتي، أن أزور المتحف الكندي للطيران والفضاء. لم يكن بالمتحف الكبير، لكنه ضم عددًا كبيرًا من الطائرات في ساحة واحدة، مقسمة إلى جزر، وكل جزيرة مختصة بنوع من الطائرات، وهذا موضح في الشكل 1. ويُلاحظ وجود الطائرات المدنية وكذلك العسكرية في مكان واحد، إضافة إلى بعض المحركات، وبعض ما يخص رحلات الفضاء.

كانت الزيارة مثيرة أعادت إلى ذهني مقالات سبق لي أن كتبتها عن تاريخ الطيران، ونشرتها مجلة الطيران المدني، التي تصدرها الهيئة العامة للطيران المدني في المملكة العربية السعودية.

ولن تتسع هذه المقالة للحديث عن كل أنواع الطائرات التي في المتحف، فأكتفي بذكر طائرة أو اثنتين من كل نوع من الأنواع.

في قسم الطيران المبكر (Early Aviation)، احتلت طائرة (AEA Silver Dart) مكانًا مرتفعًا بين الطائرات حيث عُلقت لتكون أعلى من الطائرات المجاورة لها (الشكل 2). وهي طائرة ذات جناحين (Biplane) تأثر تصميمها تأثرًا كبيرًا بطائرة الأخوين رايت المشهورة، وصممت سنة 1908م من قبل (Aerial Experiment Association).

ومن طائرات الحرب العالمية الأولى (First World War) اخترت أن أصور الطائرة (Junkers J.I) (الشكل 3)، وهي طائرة ألمانية معدنية بالكامل، صُممت للمراقبة والهجوم على الأهداف الأرضية من ارتفاع منخفض. وتُعد أول طائرة معدنية تصنع على نطاق واسع، حيث أُنتج منها أكثر من 220 طائرة. وقد كان بدنها المعدني فعالًا في حمايتها من نيران الأسلحة الخفيفة.

القسم الثالث كان لطائرات الأدغال أو طائرات المناطق النائية (Bush Flying)، وهذه طائرات مخصصة للنقل المدني (للركاب والبضائع) إلى المناطق النائية في كندا أو غيرها من الدول، حيث تكون البنية التحتية للنقل الأرضي غير مناسبة أو غير موجودة. وتستطيع هذه الطائرات أن تقلع وتهبط على الأسطح غير الممهدة، وقد يكون لها طوافات للهبوط على سطح الماء. وبعضها تُستخدم من قبل القوى الجوية للنقل العام للمناطق النائية.

القسم D مخصص لإسهامات كندا في برامج الفضاء. فقد أسهمت كندا في إنتاج (Canadarm)، وهو مجموعة من الأذرع الروبوتية (Robotic Arms) (الصورة في الصفحة السابقة) كانت تُستخدم في مكوك الفضاء لتنزيل ومناورة والتقاط



الشكل 1 | ترتيب الطائرات في ساحة المعرض



الشكل 2 | الطائرة (AEA Silver Dart)



الشكل 3 | الطائرة (Junkers J.I)

الأحمال التي ينقلها مكوك الفضاء إلى محطة الفضاء، التي وُضع لها في المتحف نموذج مصغر، إضافة إلى مقتنيات أخرى من عالم رحلات الفضاء.

وهناك قسم مخصص لمحركات الطائرات، بدءًا من المحركات المكبسية (الشكل 4) وانتهاءً بالمحركات العنفية (التوربينية) (الشكل 5).

القسم التالي مخصص لطائرات الطيران الترفيهي (Recreational Flying)، وفيه خمس طائرات، اخترت منها (De Havilland D.H. 80A Puss Moth)، وهي طائرة بريطانية فيها ثلاثة مقاعد بسرعة 200 كم/ساعة، وأُنتجت في الثلاثينيات من القرن العشرين وكانت من أفضل الطائرات أداءً في زمنها (الشكل 6).

في قسم طائرات الخطوط الجوية (Airlines)، هناك عدد من الطائرات المروحية، مع طائرة نفاثة واحدة. وقد صوّرت من هذا القسم طائرتين مروحيتين هما: طائرة بوينغ (Boeing 247D) (الشكل 7)، وطائرة دوجلاس (Douglas DC-3) (الشكل 8). وكلتاهما من جيل طائرات الركاب التي دخلت الخدمة في الثلاثينيات من القرن العشرين. الأولى منهما تتسع لعشرة ركاب ومداها 1200 كم، وسرعتها 300 كم/ساعة. والثانية تتسع بين 22-35 راكبًا (حسب الطراز) ومداها 2400 كم، وسرعتها 333 كم/ساعة. وكلتاهما بمحركين مروحيين. أما الطائرة النفاثة في هذا القسم فهي (Bombardier Challenger 604) (الشكل 9)، وهي طائرة كندية بدأت بإنتاجها سنة 1978 شركة (Canadair) وكانت حينها شركة مستقلة، ثم صارت فيما بعد جزءًا من الشركة الكندية (Bombardier Aerospace)، وتُصنف مع طائرات رجال الأعمال النفاثة (Business Jet) وتأخذ حتى 19 راكبًا (حسب التصميم) وتصل سرعتها إلى 850 كم/ساعة، ومداها إلى 6878 كم.

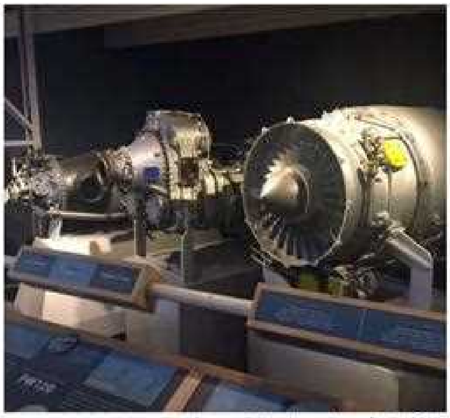
القسم H مخصص لطائرات الحرب العالمية الثانية (Second World War)، وفيه عدد من الطائرات، صورت منها (Avro 683 Lancaster) وهي طائرة بريطانية مصنفة كطائرة قاذفة ثقيلة (Heavy Bomber) وتُعد من أشهر طائرات الحرب العالمية الثانية، ولها أربعة محركات مروحية (الشكل 10).

القسم التالي هو لطائرات التدريب لدول الكومونولث البريطاني(British Commonwealth Air Training Plan)، وفيه عدد من الطائرات، اخترت منها (Avro Anson)، وهي طائرة بريطانية بمحركين مروحيين، متعددة المهام، استُخدمت كطائرة حربية قبل وفي أثناء وبعد الحرب العالمية الثانية، ثم صارت طائرة تدريب للطيارين (الشكل 11).

وفي قسم عصر الطيران النفاث (Jet Age) هناك



الشكل 4 | محرك مكبسي



الشكل 5 | محرك عنفي (توربيني)



الشكل 6 | الطائرة (De Havilland D.H. 80A Puss Moth)



الشكل 7 | الطائرة بوينغ (Boeing 247D)



الشكل 8 | الطائرة دوجلاس (Douglas DC-3)



الشكل 9 | الطائرة (Bombardier Challenger 604)



الشكل 10 | الطائرة (Avro 683 Lancaster)



الشكل 11 | الطائرة (Avro Anson)



الشكل 12 | الطائرة (Canadair Sabre 6)



الشكل 13 | الطائرة (Avro Canada CF-100 Mk.5D)

عدد من الطائرات الحربية، صورت منها طائرتين، الأولى (Canadair Sabre 6) (الشكل 12)، وهي طائرة نفاثة كندية مقاتلة (Fighter) استمر إنتاجها بين 1950-1958، وخرجت آخر طائرة منها من الخدمة سنة 1980. وهي طائرة صغيرة بمحرك نفاث واحد من نوع (turbojet) لا يزيد وزنها الفارغ عن 5000 كيلوغرام، ووزنها الإجمالي لا يزيد عن 8000 كيلوغرام. وطاقمها طيار واحد، ومداها 2044 كم. والطائرة الثانية التي صورتها (Avro Canada CF-100 Mk.5D) (الشكل 13)، وهي طائرة نفاثة كندية معترضة/مقاتلة (interceptor/fighter) استُخدمت خلال الحرب الباردة. وتميزت بقصر المسافة التي تأخذها على الأرض للإقلاع، وكذلك بمعدل صعود مرتفع، وهذا ما جعلها طائرة معترضة. طاقمها طياران، ولها محركان نفاثان من نوع (turbojet)، ومداها 3200 كم.

القسم K هو لطائرات الإقلاع والهبوط العمودي (Vertical Flight). وفيه طائرتان، مروحية ونفاثة. الأولى المروحية هي (Canadair CL-84-1 Dynavert)، (الشكل 14)، وهي طائرة كندية صُممت للإقلاع العمودي عن طريق تدوير الأجنحة إلى الأعلى فتصبح مراوحُ الدفع مراوحَ رفع، وتقلع الطائرة وكأنها هليكوبتر. وبعد أن تصل إلى الارتفاع المطلوب تدار الأجنحة إلى وضعها الطبيعي للطيران العادي. ومع أن التجارب التي أجريت عليها قد نجحت إلا أنه لم يُنتج منها إلا أربع طائرات. وتتسع الطائرة لطيارَين اثنين و 12 راكبًا، ومداها 678 كم. أما الطائرة الثانية في هذا القسم فهي طائرة (Harrier)، والطراز الموجود في المتحف هو (Hawker Siddeley AV-8A Harrier)، (الشكل 15). وطائرة (Harrier) هي الطائرة النفاثة البريطانية الأكثر شهرة في الإقلاع والهبوط العمودي، ولها طرز مختلفة.

القسم التالي هو لطائرات الهليكوبتر (Helicopter)، وفيه ست طائرات مختلفة. صورت منها (Boeing Vertol CH-113 Labrador)، (الشكل 16). وهي طائرة أمريكية ذات دوارين، ولها محركان من نوع (turboshaft)، وتُستخدم لنقل الجنود أو للبحث والإنقاذ، ويمكن أن تتسع لـ 24 شخصًا، ومداها 1024 كم، وسرعتها القصوى 267 كم/ساعة.

والقسم الأخير هو لطائرات البحرية (Naval Flying)، وهي الطائرات التي تعمل من على سطح حاملات الطائرات في البحر. وقد صورت منها طائرتين، الأولى (Hawker Sea Fury FB.11)، (الشكل 17)، وهي طائرة مروحية بحرية مقاتلة – قاذفة (Naval fighter-bomber)، طورت في أثناء الحرب العالمية الثانية لكنها استُخدمت بعد ذلك لفترة طويلة. ومداها 1126 كم، ويمكن زيادة مداها إلى 1674 كم مع خزانين للوقود إضافيين خارجيين يتخلص منهما بعد استخدام الوقود. والطائرة الأخرى هي (McDonnell F2H-3 Banshee)، (الشكل 18). وهي طائرة أمريكية نفاثة من طائرات البحرية المقاتلة، دخلت الخدمة بعد الحرب العالمية الثانية واستمرت إلى 1960، ومداها 2760 كم، وسرعتها 738 كم/ساعة.

ما يُلفت الانتباه في المتحف هو الاهتمام بالأطفال والطلاب بهدف جذبهم لعالم الطيران، فلعل بعضهم يدخل هذا المجال في مستقبل حياتهم. فهناك طائرات خشبية يمتطيها الأطفال الصغار ويحركونها بأرجلهم (الشكل 19)، وطائرات خشبية للأطفال الأكبر (الشكل 20)، وهناك شاشات مشابه الطيران للأطفال الأكبر (الشكل 21)، وهناك قمرة قيادة متاحة للأطفال ليجلسوا مكان الطيار ويحركوا عصا القيادة (الشكل 22)، وهناك مشابه طيران حقيقي يجلس فيه الأطفال ويُشغَّل لقاء مبلغ بسيط من المال (الشكل 23)، وهناك أخيرًا صورة لرائد فضاء يستطيع الطفل أن يضع وجهه مكان وجه رائد الفضاء ويتصور (الشكل 24). ومن أساليب تشجيع الطلاب على زيارة المتحف، الرسوم المخفضة لدخول الطلاب والأسر مع أولادها. أما أنا فلم أستفد إلا من الرسوم المخفضة للمتقاعدين (فوق 65 سنة) ■



الشكل 24 | تخيل نفسك رائد فضاء أيضًا



الشكل 14 | المروحية (Canadair CL-84-1 Dynavert)



الشكل 15 | الطائرة (Hawker Siddeley AV-8A Harrier)



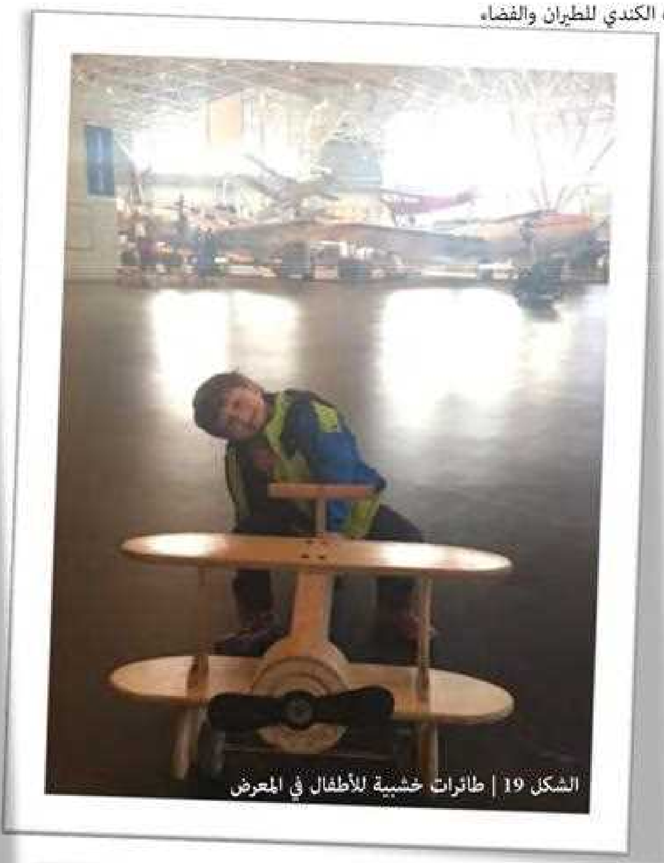
الشكل 16 | الهليكوبتر (Boeing Vertol CH-113 Labrador)



الشكل 17 | الطائرة (Hawker Sea Fury FB.11)



الشكل 18 | الطائرة (McDonnell F2H-3 Banshee)



الشكل 19 | طائرات خشبية للأطفال في المعرض



الشكل 20 | طائرات خشبية للأطفال في المعرض



الشكل 21 | شاشات مشابه الطيران للأطفال



الشكل 22 | قمرة قيادة طائرة للأطفال والزائرين



الشكل 23 | مشابه طيران حقيقي متاح لزوار المعرض

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الرابعة – العدد 14 – شباط (فبراير) 2018

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag



النظام الهيدروليكي

جهاز الطائرة العصبي

أداء الطائرات

الطائرات الميكروية

الإنجليزية والضيافة الجوية



أداء الطائرات



أ.د. محمود نديم نحاس

خبير في هندسة الطيران

ما نقصده بدراسة أداء الطائرة هو دراسة السرعة التي تطير بها الطائرة، والمدى الذي تصل إليه، والزمن الذي تستغرقه في رحلتها، وما هي المحركات المناسبة لها، وكم الحمل الذي تستطيع حمله، وكم تدرج على الأرض إلى أن تقلع، وكم تدرج بعد الهبوط إلى أن تقف، إلخ.

لقد أدى التحسن في أداء المحركات وتصميم الأجنحة والتصميم الإنشائي للطائرة عمومًا إلى تحسن كبير جدًا في أداء الطائرات. ففي نهاية العشرينيات من القرن العشرين، صنعت شركة فوكر (Fokker) الأمريكية عددًا من الطائرات وكان من بينها الطائرة (F.10)، وهي طائرة بثلاثة محركات لاثني عشر راكبًا مع ملاحَين اثنين، وسرعتها 195 كيلًا في الساعة، ومداها 1280 كيلًا، ووزنها فارغة ثلاثة أطنان ونصف. وقد استخدمتها خمس شركات طيران أمريكية وشركة الطيران المكسيكية. في حين أننا اليوم نتحدث عن الطائرات العملاقة من مثل إيرباص 380 المؤلفة من طابقين وتحمل 544 راكبًا من مختلف الدرجات (سياحية، أعمال، درجة أولى)، وتطير بسرعة أعلى بقليل من 900 كيلًا في الساعة، ومداها 15200 كيلًا، ووزنها عند الإقلاع 575 طنًا، ومستودعات العفش والشحن فيها 184 مترًا مكعبًا، إنه تطور هائل بلا شك.

وموضوع أداء الطائرات المطروح هنا مبسط ليتناسب مع الهدف العام من هذا المدخل. وبادئ ذي بدء، من المفيد القول بأن طريقة دراسة أداء الطائرة تعتمد على نوع محركاتها. فالطائرات ذات المحركات النفاثة تحصل من محركاتها على قوة الدفع مباشرة، أما الطائرات ذات المحركات المروحية فإنها تحصل على قوة الدفع من المراوح (أو الدواسر) (Propellers) وتكون مهمة المحركات تدوير المراوح للحصول على قوة الدفع، وهذا يعني أن المحركات هنا تنتج قدرة (Power) وليس قوة دفع.

أداء الطائرات النفاثة في الطيران المستوي

إن مهمة قوة الدفع (Thrust) هي أن تعاكس قوة الكبح أو المقاومة الهوائية (Drag). وفي الطيران المستوي (Level flight) أو الطيران المطّرد أو التطوافي (Cruise) تطير الطائرة بسرعة ثابتة. ومن المناسب أن نبدأ هنا بدراسة قوة الكبح.

تتألف قوة الكبح في الطيران دون الصوتي من جزأين: قوة الكبح الحثية (Induced drag)، وتتولد مع قوة الرفع (Lift) ولذا تُسمى قوة الكبح المعتمدة على الرفع (Lift-dependent drag)، وقوة الكبح الطفيلية (Parasite drag) التي تتولد بسبب مقاومة الهواء لأجزاء الطائرة واحتكاك أسطحها الخارجية بالهواء، ولا علاقة لها بقوة الرفع، ولذا تُسمى قوة الكبح بلا رفع (Zero-lift drag).

ويُعبر عن هذا في مُعامل الكبح بالعلاقة التالية:

$$= \quad + \quad = \quad + \quad ^{2} = \quad + \frac{2}{\quad}$$

حيث الحد الأول هو مُعامل الكبح بلا رفع، والحد الثاني هو معامل الكبح المعتمد على الرفع، أما (k) فهي عامل مُعامل الكبح المعتمد على الرفع (Lift-dependent drag coefficient factor). وفي الصيغة الأخيرة (AR) تمثل النسبة الباعية للجناح (Aspect Ratio)، في حين (e) عامل كفاءة الطائرة (Airplane efficient factor) أو نسبة Oswald (للعالم الذي استخدمه لأول مرة Efficient factor)، ويساوي بين 0.75-0.90 .

وهناك متغير آخر من متغيرات تصميم الطائرة التي تؤثر على الأداء، وهو نسبة الرفع إلى الكبح (Lift-to-Drag Ratio)، ويُرمز لها بـ (L/D)، وهي تدمج الرفع والكبح في متغير واحد. وواضح أن هذه النسبة ليس لها وحدة قياس، لأن الرفع (البسط) والكبح (المقام) كلاهما يقاس بوحدة القوة (النيوتن). وتعبر هذه النسبة عن كفاءة الطائرة في الطيران، فزيادتها تعني أن قوة الكبح على الطائرة أقل، حتى إذا بلغت هذه النسبة قيمتها القصوى تكون قوة الكبح في أصغر قيمة لها.

ومن معادلة معامل الكبح تكون قوة الكبح:

$$= \tfrac{1}{2} \quad ^{2} \quad + \tfrac{1}{2} \quad ^{2} \; (\quad ^{2})$$

وفي الطيران المطّرد يتساوى الرفع (Lift, L) مع الوزن (Weight, W) وبذلك:

$$= \frac{\quad}{\tfrac{1}{2} \quad ^{2}}$$

فنكتب قوة الكبح:

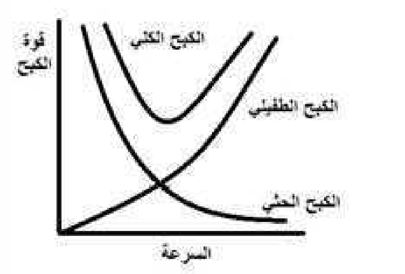
$$= \tfrac{1}{2} \quad ^{2} \quad + \tfrac{1}{2} \quad ^{2} \; \left(\frac{\quad}{\tfrac{1}{2} \quad ^{2}}\right)^{2}$$

أو:

$$= \tfrac{1}{2} \quad ^{2} \quad + \frac{\quad ^{2}}{\tfrac{1}{2} \quad ^{2}}$$

هذه المعادلة تقول بأن قوة الكبح تتألف من جزأين، أحدهما يتناسب طردًا مع مربع السرعة، والآخر يتناسب عكسًا مع مربع السرعة. وإذا رسمت قوة الكبح كدالة للسرعة نحصل على شكل من قبيل الشكل 1.

وإذا رسمنا قوة الكبح كما في الشكل 1 مع السرعة الحقيقية (True airspeed) فسنرسم شكلًا منفصلًا لكل ارتفاع من ارتفاعات الطائرة نظرًا لتغير كثافة الهواء مع الارتفاع. لكن من علاقة السرعة الحقيقية مع السرعة المكافئة:



الشكل 1 | قوة الكبح

تصبح قوة الكبح:

$$= \tfrac{1}{2} \; _{0} \quad ^{2} \quad + \frac{\quad ^{2}}{\tfrac{1}{2} \; _{0} \quad ^{2}} = \quad ^{2} + \frac{\quad}{\quad ^{2}}$$

حيث A وB ثابتان للطائرة المدروسة، وبذلك فإن قوة الكبح دالة للسرعة المكافئة فقط، والعلاقة بينهما موضحة في الشكل 1، لكنها في هذه الحالة منحنى وحيد لأن السرعة المكافئة تعريفًا لا علاقة لها بالارتفاع، بل هي السرعة عند سطح البحر.

ويوضح الشكل 1 أن قوة الكبح لها قيمة صغرى أو دنيا. وباستخدام الرياضيات لمعرفة أين تحصل هذه القيمة نستنتج أنها تحصل عندما يتساوى الكبح الحثي مع الكبح الطفيلي، الشكل 1. وعند هذه النقطة تكون نسبة الرفع إلى الكبح في أعلى قيمة لها. والمعادلات التالية تلخص خصائص هذه النقطة، حيث رُمز بالرمز (md) للدلالة على الكبح الأدنى (Minimum drag):

$$= \quad ^{2} =$$

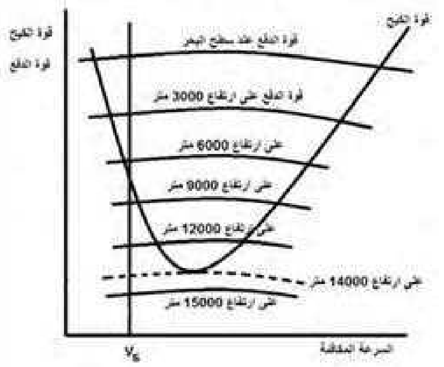
$$= 2$$

$$= \quad \frac{\quad}{\quad} /$$

$$— \quad = \frac{1}{2 \quad}$$

$$= \frac{\quad}{\tfrac{1}{2} \quad} = \frac{\quad}{\tfrac{1}{2} \quad} \quad ^{1/2} \quad \frac{\quad}{\quad} ^{1/4}$$

في الطيران المستوي، تتطلب الطائرة من محركاتها النفاثة أن تعطيها قوة دفع مساوية لقوة الكبح. لذا نسمي منحنى الكبح في الشكل 1 بأنه الدفع المطلوب (The required thrust). وعند دراسة المحركات نجد أن قوة الدفع الناتجة عنها تتغير تغيرًا طفيفًا مع السرعة المكافئة للطائرة، لكنها تنخفض انخفاضًا ملحوظًا مع ارتفاع الطائرة في الجو. وفي الشكل 2 رُسِمَت منحنيات قوة الرفع المتوفرة (The available thrust) من محرك معين لعدد من الارتفاعات، مع منحنى الكبح لطائرة معينة.



الشكل 2 | منحنيات أداء لطائرة نفاثة

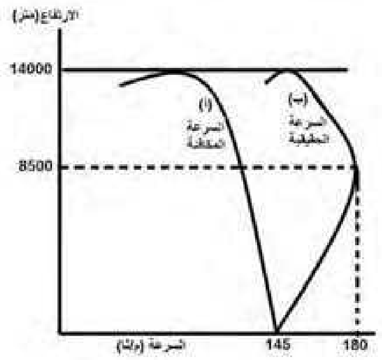
في نقاط التقاطع بين منحنيات الدفع ومنحنى الكبح تتساوى القوتان، وتطير الطائرة طيرانًا مستويًا عند الارتفاع المعني. ويُلاحظ وجود سرعتين ممكنتين للطيران عند الارتفاعات الأعلى من حوالي 7500 متر (حوالي 24600 قدم). وعمومًا فإن أعلى هاتين السرعتين هي المهمة، ما عدا في حالات خاصة. أما دون هذا الارتفاع فلا معنى للسرعات الأقل من سرعة الانهيار (Stall speed, Vs).

عند الارتفاع حوالي 14000 متر (حوالي 45900 قدم) يصبح منحنى الدفع (المرسوم بخط متقطع) مماسًا لمنحنى الكبح، ويكون الطيران ممكنًا عند سرعة واحدة فقط عند هذا الارتفاع. ويمثل هذا الارتفاع أعلى ارتفاع ممكن للطيران المستوي، ويُسمى الارتفاع الأقصى للطائرة (Ceiling)، حيث لا يمكن أن يتحقق الطيران على ارتفاع أعلى منه، نظرًا لكون قوة الدفع تصبح أقل من قوة الكبح.

مع التأكيد هنا على أن كل ما ذُكر أعلاه ينطبق على طائرة معينة في ظروف جوية معينة، عند ضبط معين للمِخنق (Throttle).

وإذا رسمنا السرعات المكافئة عند نقاط التقاطع كدالة للارتفاع نحصل على المنحنى (أ) في الشكل 3. ومن علاقة السرعة المكافئة مع السرعة الحقيقية نستطيع أن نرسم المنحنى (ب) الذي يعطي تغير السرعة الحقيقية للطائرة مع الارتفاع. ومن هذا الشكل نرى كيف أن الطيران على ارتفاعات عالية يمثل الطيران الاقتصادي، حيث نحصل للطائرة المدروسة على أقصى سرعة للطيران المستوي عند الارتفاع 8500 متر تقريبًا (حوالي 27900 قدم)، وتكون السرعة حوالي 180 متر/ثانية (648 كم/ساعة) مقارنة بـ 145 متر/ثانية (522 كم/ساعة) عند سطح البحر. ومن الجدير ذكره أن استهلاك الوقود متناسب طردًا مع قوة الدفع. أي إن كان الدفع يقل مع الارتفاع، فإن استهلاك الوقود يقل أيضًا. وفي مثالنا انخفض الدفع عند ارتفاع 8500 متر بحوالي 45% عن الدفع عند سطح البحر، أي انخفض استهلاك الوقود بهذا المقدار أيضًا، في حين زادت السرعة بحوالي 25% عند هذا الارتفاع. أي عند هذا الارتفاع، تطير الطيارة مسافة أطول وبسرعة أعلى من أجل كمية معينة من

الوقود.



الشكل 3 | تغير السرعة مع الارتفاع

أداء الطائرات المروحية في الطيران المستوي

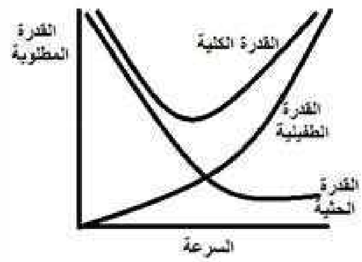
عندما تتحرك الطائرة بسرعة V (متر/ثانية) فإن القدرة المطلوبة لمعاكسة قوة الكبح D (نيوتن) هي:

$$=$$

وهذه القدرة تُقاس بالواط. ومن معادلة الكبح نكتب القدرة:

$$= \frac{1}{2}\ ^{3} \quad + \frac{\ ^{2}}{\frac{1}{2}}$$

هذه المعادلة تقول بأن القدرة المطلوبة تتألف من جزأين، أحدهما يتناسب طردًا مع مكعب السرعة، والآخر يتناسب عكسًا مع السرعة. وإذا رسمت القدرة هذه كدالة للسرعة نحصل على شكل من قبيل الشكل 4.



الشكل 4 | القدرة المطلوبة

وإذا رسمنا القدرة المطلوبة كما في الشكل 4 مع السرعة الحقيقية (True airspeed) فسنرسم شكلًا منفصلًا لكل ارتفاع من ارتفاعات الطائرة، نظرًا لتغير كثافة الهواء مع الارتفاع. لكن من علاقة السرعة الحقيقية مع السرعة المكافئة المذكورة آنفًا، والتي يمكن إعادة كتابتها كما يلي:

$$= \frac{}{\sqrt{\ }}$$

حيث:

$$= \frac{}{_0}$$

تصبح معادلة القدرة المطلوبة:

$$\sqrt{\ } = \frac{1}{2}\ _0\ ^{3} \quad + \frac{\ ^{2}}{\frac{1}{2}\ _0} = \ ^{3} + —$$

وهي دالة للسرعة المكافئة فقط، أي إذا رسمنا $\sqrt{\ }$ يكون لدينا منحنى واحد فقط.

ويُلاحظ في الشكل 4 أن القدرة المطلوبة لها قيمة صغرى أو دنيا. وباستخدام الرياضيات لمعرفة أين تحصل هذه القيمة نستنتج أنها تحصل عندما تكون القدرة الحثية ثلاثة أضعاف القدرة الطفيلية، أي:

$$^{2} = 3$$

ونحصل على المعادلات التالية التي تلخص خصائص هذه النقطة، حيث رُمز بالرمز (mp) للدلالة على القدرة الدنيا (Minimum power):

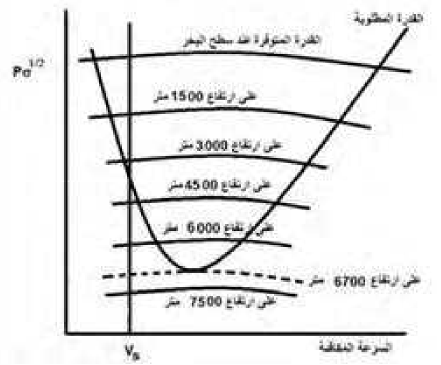
$$= \overline{\frac{3}{}} = \quad \sqrt{3}$$

$$= \frac{}{3^{1/4}} = \frac{}{1.316} = 0.76$$

$$— \quad = \frac{\overline{3}}{16} = \frac{\sqrt{3}}{2}(—) \quad = 0.866(—)$$

في الطيران المستوي، تتطلب الطائرة من محركاتها المروحية أن تعطيها قدرة مساوية للقدرة المطلوبة (The required power). وعند دراسة المحركات نجد أن القدرة الناتجة عنها تتغير تغيرًا طفيفًا مع السرعة المكافئة للطائرة، لكنها تنخفض انخفاضًا ملحوظًا مع ارتفاع الطائرة في الجو. وفي الشكل 5 رُسِمَت منحنيات القدرة المتوفرة (The available power) من محرك معين لعدد من الارتفاعات مع منحنى القدرة المطلوبة لطائرة معينة، مع ملاحظة ما يلي:

- القدرة المطلوبة أو المتوفرة هي $\sqrt{\ }$ كما سبقت الإشارة إلى هذا آنفًا.
- القدرة المتوفرة هي ليست كل القدرة الناتجة من المحركات، إذ لابد من فقد شيء من القدرة في المراوح أو الدواسر (propellers)، أي القدرة المتوفرة هي القدرة الناتجة من المحركات مضروبة بكفاءة الدواسر.



الشكل 5 | منحنيات أداء لطائرة مروحية

وما قيل في حالة أداء الطائرات النفاثة يُقال هنا أيضًا، ففي نقاط التقاطع بين منحنيات القدرة المتوفرة ومنحنى القدرة المطلوبة تتساوى القدرتان، وتطير الطائرة طيرانًا مستويًا عند الارتفاع المعني. ويُلاحظ وجود سرعتين ممكنتين للطيران عند الارتفاعات الأعلى من حوالي 3700 متر. وعمومًا فإن أعلى هاتين السرعتين هي المهمة، ما عدا في حالات خاصة. أما دون هذا الارتفاع، فلا معنى للسرعات الأقل من سرعة الانهيار (Stall speed, Vs).

عند الارتفاع حوالي 6700 متر، يصبح منحنى القدرة المتوفرة (المرسوم بخط متقطع) مماسًا لمنحنى القدرة المطلوبة، ويكون الطيران ممكنًا عند سرعة واحدة فقط عند هذا الارتفاع. ويمثل هذا الارتفاع أعلى ارتفاع ممكن للطيران المستوي، ويُسمى الارتفاع الأقصى للطائرة (Ceiling)، حيث لا يمكن أن يتحقق الطيران على ارتفاع أعلى منه، نظرًا لكون القدرة المتوفرة تصبح أقل من القدرة المطلوبة.

مع التأكيد هنا أيضًا على أن كل ما ذُكر ينطبق على طائرة معينة في ظروف جوية معينة، عند ضبط معين للمِخنق (Throttle). ويمكن هنا أيضًا رسم السرعات المكافئة عند نقاط التقاطع كدالة للارتفاع بشكل مماثل لما في الشكل 3.

الطيران الشراعي أو الانزلاقي (Glide)

عندما تتوقف محركات الطائرة فإن الطائرة لا تقع من الجو إلى الأرض، لأنها تستطيع الطيران لمسافة لا بأس بها بلا قدرة من المحركات. هذا الطيران هو مثل طيران الطائرة الشراعية التي ليس لها محركات. لكن ماذا على الطيار أن يعمل عندما تتوقف جميع المحركات عن العمل؟

إما أن يحاول البقاء في الجو أكبر مدة ممكنة حتى يجد مطارًا بديلًا يستطيع الوصول إليه، أو لعله يستطيع أن يعيد أحد المحركات للعمل. والبقاء في الجو يُسمى الصمود أو التحمّل (Endurance)، ويتم بتقليل معدل فقدان الارتفاع. وهذا يحصل عند السرعة التي تتطلب أقل قدرة. وعند هذه السرعة يكون معدل النزول أو الهبوط (Rate of Descent) أقل ما يمكن. لكن في

الحقيقة فإن الاهتمام بالبقاء أطول زمن ممكن هو من اهتمام أهل الطائرات الشراعية، لأنهم في الغالب يطيرون للنزهة.

وإما أن يحاول أن يقطع أطول مسافة ممكنة وهو يطير شراعيًا كي يصل إلى المطار المناسب. وهنا عليه أن يزيد نسبة الانزلاق أو نسبة الانحدار (Glide Ratio)، وهي نسبة المسافة الأفقية المقطوعة إلى الارتفاع المفقود، ليطير بالسرعة المقابلة لأعلى قيمة لنسبة الرفع إلى الكبح (L/D) أي السرعة المقابلة للكبح الأدنى، فهذه السرعة هي سرعة أكبر مدى، وهي أكبر من سرعة أكبر تحمل (أي سرعة القدرة الدنيا) كما وجدنا آنفًا.

تتراوح نسبة الانحدار في الطائرات الشراعية بين 25:1 و 60:1، في حين أن نسبة الانحدار في الطائرات غير الشراعية تكون بحدود 16:1 وفي الطائرات الصغيرة تنخفض إلى 10:1. وقد كانت نسبة الانحدار في مكوك الفضاء 4:1. وتُقرأ نسبة الانحدار هكذا مثلًا: 16 إلى 1، وهي تعني أنه مقابل كل ألف قدم (حوالي 300 متر) نزول تقطع الطائرة مسافة أفقية مقدارها 16000 قدم (حوالي 5 كيلومترات). وجدير ذكر أن على الطيار أن يحفظ السرعات المهمة في الطائرة التي يقودها، ومن بينها سرعتي أكبر مدى وأكبر تحمّل. ومن الطبيعي أنه لا يحفظ السرعات الحقيقية بل السرعة المكافئة لأنها هي التي أمامه على عدّاد السرعة.

ومن حوادث الطائرات سنة 1984 في كندا، أن طائرة بوينغ 767، المتجهة من مونتريال إلى إدمنتون، زُودت خطأ بكمية من الوقود أقل مما ينبغي، حيث خلط الفني المسؤول بين الوحدات المترية والوحدات البريطانية. ولما اكتشف الطيار نفاد الوقود، استطاع أن يطير بطائرته شراعيًا إلى مطار مهجور لم يكن على خط سيره. فلنفرض أنه كان على ارتفاع 32000 قدم (حوالي 9700 متر) وكانت نسبة الانحدار في طائرته 16:1 فإنه قطع مسافة أفقية مقدارها 512000 قدم، أي ما يعادل 156 كيلومترًا.

أداء الطائرات في الإقلاع

في الإقلاع، تبدأ الطائرة بالتسارع على أرض المطار من بداية المدرج حتى تصل إلى سرعة تزيد بحوالي 20% عن سرعة الانهيار (Stall speed)، وعندها يسحب الطيار عصا القيادة للخلف فتقلع الطائرة عن الأرض. وفي الإقلاع يهتم مصممو الطائرات بالمسافة التي ستدرجها الطائرة على الأرض لتستطيع الإقلاع. ويمكن تقليل المسافة بزيادة قدرة المحركات أو بتصغير سرعة الإقلاع. أما زيادة قدرة المحركات فتسبب زيادة في وزن الطائرة وزيادة في الكلفة. وأما تصغير سرعة الإقلاع فيترتب عليه وجوب إنقاص سرعة الانهيار، ويكون هذا بأجهزة الرفع العالي (High-lift devices) والتي سبق بحثها.

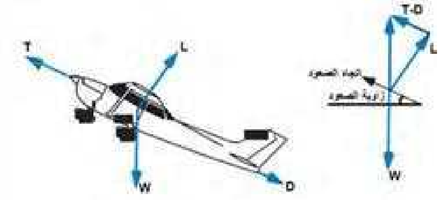
إن أهم عامل في أداء الإقلاع هو وزن الطائرة، فسرعة الإقلاع تتناسب طردًا مع الجذر التربيعي لوزن الطائرة، في حين أن مسافة الإقلاع تتناسب طردًا مع مربع الوزن.

وهناك عامل آخر مهم في أداء الإقلاع، وهو سرعة الرياح. فالرياح المعاكسة لاتجاه الطائرة تقلل من مسافة الإقلاع، في حين أن الرياح التي تهب على الطائرة من خلفها تزيد من مسافة الإقلاع. والسبب هو أن السرعة الهوائية هي المهمة في الطيران وليس السرعة الأرضية. والرياح المعاكسة تزيد من السرعة الهوائية كما سبقت الإشارة إلى ذلك عند الحديث عن سرعة الطائرة. ولهذه الأسباب فإن الإقلاع يكون دومًا في الاتجاه المعاكس للرياح. فإذا كان الإقلاع من على سطح حاملة الطائرات في البحر، تغير حاملة الطائرات اتجاهها ليكون الإقلاع معاكسًا للرياح. ولكن ماذا عن الإقلاع من المطارات؟ في بداية عهد الطيران، أي قبل أكثر من مئة عام، كانت أرض المطار مربعة ليسهل على الطيار اختيار اتجاه الإقلاع معاكسًا للرياح. لكن مع زيادة مسافة الإقلاع لم يعد ممكنًا أن يخصص مساحة مربعة كبيرة جدًا للإقلاع، فجاء مفهوم المدرج الذي له اتجاه واحد، هو اتجاه الرياح السائدة في المنطقة. فإذا كانت الرياح السائدة تتغير مع فصول السنة، فهناك مدرج آخر يكون بزاوية 45 أو 60 درجة مع المدرج الرئيسي. وهناك مطارات بُنيت في الحرب العالمية الثانية لها ثلاثة مدارج بزوايا 60 درجة فيما بينها. وهذا كله يجعل الإقلاع إما معاكسًا للرياح أو مائلًا عليها بزاوية لا تتجاوز 30 درجة، وهذا مما تُصمم الطائرة لتتحمله.

هناك عامل آخر مهم في أداء الإقلاع، وهو ارتفاع المطار عن سطح البحر. فإذا كان المطار على ارتفاع 6000 قدم مثلًا فإن قوة الدفع (أو القدرة) المتوفرة تكون أقل منها عند سطح البحر، وهذا يزيد مسافة الإقلاع بحوالي 20% عن المسافة عند سطح البحر. على أن تفاصيل متطلبات الإقلاع لا داعي للخوض فيها في هذا الموضوع الموجز.

أداء الطائرة في الصعود

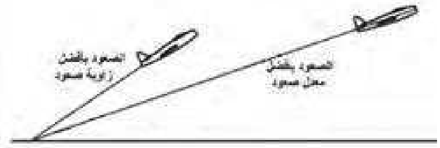
بعد إقلاع الطائرة من الأرض تبدأ في عملية الصعود (Climb) للوصول إلى الارتفاع الذي ستطير عليه. ويوضح الشكل 6 القوى على الطائرة. وفي الصعود تستمر الطائرة في التسارع للوصول إلى سرعة الطيران المطرد (Cruising)، مما يستدعي أن تكون قوة الدفع أكبر من قوة الكبح ليتحقق التسارع. أما الوزن الذي كانت قوة الرفع تساويه في الطيران المستوي، فإنه الآن يتم التغلب عليه جزئيًا من قوة الرفع، وجزئيًا من الفرق بين قوتي الدفع والكبح، الشكل 6، مع التأكيد على أن قوة الكبح هي دومًا في الاتجاه المعاكس لاتجاه الطيران، وأن قوة الرفع عمودية عليها.



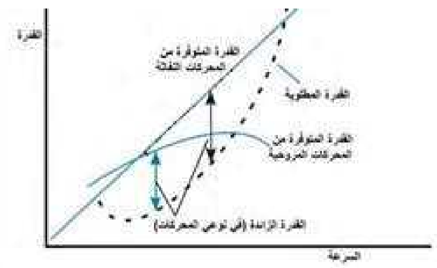
الشكل 6 | القوى على الطائرة في الصعود

هناك حالتان مهمتان من حالات الصعود. الأولى هي حالة أفضل معدل صعود (Best rate of climb). ونقصد بمعدل الصعود مركّبة السرعة في الاتجاه الرأسي. والصعود تحت هذه الشروط يؤدي إلى الوصول إلى ارتفاع الطيران المطرد في أقصر وقت ممكن.

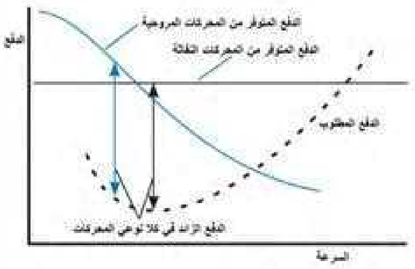
الحالة الثانية، هي حالة أعلى أو أفضل زاوية صعود (The steepest climb, or the best angle of climb). وهذه الحالة تفيد الطيار في الوصول إلى الارتفاع المطلوب في أقصر مسافة ممكنة، كأن يكون أمامه قمة جبل ويريد أن يرتفع أعلى منها فيستخدم أعلى أو أفضل زاوية صعود. والفرق بين هاتين الحالتين موضح في الشكل (7).


الشكل 7 | أفضل معدل وأفضل زاوية صعود

إن أفضل معدل صعود يحصل عند أعلى قدرة زائدة (Excess power) وهي الفرق بين القدرة المتوفرة والقدرة المطلوبة، وهو موضح في الشكل 8 للمحركات النفاثة والمحركات المروحية. وتكون القدرة الزائدة أعلى ما يمكن عند السرعة المقابلة لأصغر قوة كبح (minimum drag).


الشكل 8 | القدرة الزائدة

وفي المقابل فإن أفضل زاوية صعود تحصل عند أعلى دفع زائد (Excess thrust). وهو الفرق بين الدفع المتوفر والدفع المطلوب، وهو موضح في الشكل 9 لكلا نوعي المحركات. في المحركات النفاثة يكون الدفع الزائد أعلى ما يمكن عند السرعة المقابلة لأصغر قوة كبح (Minimum drag)، في حين أنه يحصل في المحركات المروحية عند سرعة قريبة من سرعة الانهيار، أي من الأفضل للطائرة أن تصعد بسرعة تساوي سرعة الإقلاع.



الشكل 9 | الدفع الزائد

الارتفاع الأقصى للطائرة

مع صعود الطائرة في الجو تنخفض كثافة الهواء وتنخفض تبعًا لذلك القدرة والدفع المتوفران من محركات الطائرة، وبذلك تنخفض القدرة الزائدة وينخفض الدفع الزائد إلى أن يصل الأمر إلى انعدامهما عند ارتفاع معين، ويصبح معدل الصعود صفرًا، ولا تستطيع الطائرة الصعود لأي ارتفاع أعلى منه. هذا الارتفاع هو الارتفاع الأقصى للطائرة (Absolute ceiling)، والذي سبق الحديث عنه في الطيران المستوي.

لكن ليس من الحكمة أن تطير الطائرة على هذا الارتفاع لأنها تكون عاجزة عن أي مناورة، لذا ففي الطيران المدني يُعرّف ارتفاع أقل منه يُسمى ارتفاع الخدمة الأقصى (Service ceiling)، وهو الارتفاع الذي يكون معدَّل الصعود عنده يساوي 100 قدم/دقيقة (30 متر/دقيقة أو 0.5 متر/ثانية). أما في الطيران الحربي فيُعرّف ارتفاع القتال الأقصى (Combat ceiling)، وهو الارتفاع الذي يكون معدَّل الصعود عنده يساوي 500 قدم/دقيقة (150 متر/دقيقة أو 2.5 متر/ثانية).

استهلاك الوقود

في السيارات يُقاس استهلاك الوقود (Fuel Consumption) باللتر لكل 100 كيلومتر (أو بالعكس في الوحدات البريطانية بالميل لكل جالون). لكن في الطائرات هذه الوحدات ليست مناسبة، لأن الطيار مهتم أن يعرف كم يستطيع البقاء في الجو في مقابل الوقود الذي معه. لذا يُقاس استهلاك الوقود باللتر في الساعة (أو جالون في الساعة) للطائرات الصغيرة، وبالكيلوجرام في الساعة (أو رطل في الساعة) للطائرات الكبيرة. غير أن المهندسين الذين يصممون الطائرات يستخدمون الاستهلاك النوعي للوقود (Specific fuel consumption)، وهو معدل استهلاك الوقود



مقسومًا على الدفع (في الطائرات النفاثة) أو على القدرة (في المحركات المروحية). وبذلك فإن الاستهلاك النوعي للوقود يدل على كفاءة المحركات، وانخفاضه يدل على كفاءة أعلى للمحركات.

التحمّل الأقصى

تُصمم بعض الطائرات، كطائرات المراقبة (Surveillance) مثلًا، لتبقى في الجو أطول مدة ممكنة، وهذا هو التحمّل الأقصى (Maximum Endurance)، إذ أن مهمة هذه الطائرة التسكع أو البقاء (Loiter) في منطقة معينة لفترة طويلة. وفي هذه الطائرات يكون التركيز على معدل استهلاك الوقود، حيث يجب أن تطير الطائرة على السرعة التي تؤدي إلى الاستهلاك الأدنى للوقود. وفي الطائرات المروحية، هي السرعة المقابلة للقدرة الدنيا، في حين في المحركات النفاثة هي السرعة المقابلة لأقل دفع مطلوب، أي عند السرعة المقابلة للكبح الأدنى. وهاتان السرعتان منخفضتان، أي أن الطائرة التي تود البقاء في الجو أطول فترة ممكنة تطير ببطء.

المدى الأقصى

خلافًا للحالة الخاصة للطائرات التي تود أن تبقى في الجو أطول مدة ممكنة، فإن الطائرات في العادة تود أن تقطع أطول مسافة ممكنة للوصول إلى الوجهة أو الهدف. والمسافة الأطول هي المدى الأقصى (Maximum Range).

في المحركات المروحية نحصل على المدى الأقصى بالطيران على السرعة المقابلة للقيمة الأدنى لـ (P/V)، وهذه القيمة هي الكبح، أي يحصل المدى الأقصى بالطيران على السرعة المقابلة للكبح الأدنى.

أما في المحركات النفاثة فنحصل على المدى الأقصى بالطيران على السرعة المقابلة للقيمة الأدنى لـ (T/V) أو (D/V).

وحيث أن وزن الطائرة يقل طوال الرحلة بسبب استهلاك الوقود، فكيف يمكن الاستفادة من هذا في تقليل استهلاك الوقود؟ في الطائرات الصغيرة يمكن تغيير زاوية الهبوب لضبط المتغيرات، أما في الطائرات الكبيرة فهذا غير ممكن لأن بدن الطائرة يجب أن يبقى أفقيًا من أجل راحة الركاب. لذا فالحل في هذه الحالة هو زيادة ارتفاع الطيران. ولا تكون الزيادة باستمرار لأن المسؤولين عن المرور الجوي لا يسمحون بهذا، وإنما تكون على خطوات فيما يُسمى (stepped-altitude climb) بعد الحصول على الإذن بذلك.

أداء الطائرات في الهبوط أو الحط على الأرض

ما يهمنا في الهبوط أو الحط على الأرض (Landing) هو مسافة الهبوط، أي المسافة التي تدرجها الطائرة على الأرض إلى أن تقف. فعندما تقترب الطائرة من الأرض يكون لديها طاقة حركية مقدارها ($\frac{1}{2}$ ^{2})، والتي تصبح صفرًا عند التوقف.

وهذا يعني أن مسافة الهبوط تتناسب طردًا مع مربع السرعة عند لمس الأرض. وهذه السرعة يجب أن تكون أكبر من سرعة الانهيار (Stall speed)، لذا يجب أن تكون سرعة الانهيار في هذه الظروف صغيرة. ولهذا السبب فإن أجهزة الرفع العالي (القلابات) عند الاقتراب من الهبوط يتم تنزيلها بزوايا أكبر من الزوايا المستخدمة في الإقلاع.

وعمومًا فإن مسافة الهبوط أصغر من مسافة الإقلاع لأن الطائرة تستطيع التباطؤ باستخدام الفرامل أسرع بكثير من التسارع عند الإقلاع. ليس هذا فحسب، بل إن قوة الرفع التي يجب أن تبقى حتى لحظة لمس العجلات للأرض يتم التخلص منها بسرعة بعد ذلك حتى لا تعاكس الوزن، مما يثبت الطائرة على الأرض. ويمكن التخلص من الرفع بعدة طرق، مثل رفع القلابات مباشرة بعد لمس الأرض، إضافة إلى استخدام مفسدات الرفع (spoilers) وهي أسطح متمفصلة على السطح العلوي للجناح، عندما تُفتح يتغير شكل الجناح فلا يبقى مولدًا للرفع، وتزيد كذلك الكبح. وإضافة إلى هذا هناك عاكسات الدفع (Thrust reversers) التي تنفتح من غلاف المحرك النفاث فتسبب انعكاس النفاث للأمام، أي تعكس اتجاه قوة الدفع مما يسهّل إيقاف الطائرة. وهذه الإجراءات تقلل على نحو كبير كمية الحرارة المتولدة في فرامل الطائرة نظرًا لانخفاض الطاقة التي عليها أن تمتصها. ومع ذلك فإن عجلات طائرات الركاب تملأ بالنيتروجين وليس بالهواء المحتوي على الأكسجين والذي يمكن أن يشتعل مع ارتفاع الحرارة. ومع كل هذه الإجراءات فإنه لا بد من انتظار الفرامل حتى تبرد أو تُبرد قبل الإقلاع في رحلة أخرى.

وكما هو الحال في الإقلاع المعاكس للرياح، فإن الهبوط يكون أيضًا معاكسًا للرياح ليساعد على تخفيض سرعة الانهيار وتخفيض سرعة الهبوط. وهنا أيضًا فإن المطار المرتفع عن سطح البحر يزيد من مسافة الهبوط بطريقة مماثلة لما شُرح في حالة الإقلاع.

ومن باب المثال، فإن طائرة البوينغ 747-400 تقلع عند سرعة 290 كيلومتر/ساعة (180 ميل/ساعة)، وتطير بسرعة 910 كيلومتر/ساعة (565 ميل/ساعة)، وتهبط بسرعة 260 كيلومتر/ساعة (161 ميل/ساعة) ■



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الخامسة - العدد 15 - آذار (مارس) 2019

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

إيرباص A380
نهاية عملاق حزينة





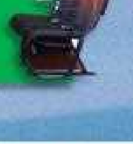
حادث بوينغ 737 ماكس



نظام الأكسجين



السيراميك والطيران



مقاعد طائرات المستقبل



النقل الجوي هو الأكثر أماناً

والعام 2017 هو الأفضل



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

شبكة سلامة الملاحة الجوية

مع نهاية كل عام تنشر شبكة سلامة الملاحة الجوية (Aviation Safety Network, ASN) تقريرها السنوي عن حوادث الطائرات في ذلك العام .

وشبكة سلامة الملاحة الجوية منظمة مستقلة تأسست سنة 1996، ومقرها هولندا، بهدف توفير المعلومات الدقيقة عن حوادث النقل الجوي وما يتعلق بها من قضايا السلامة الجوية. وهذه الشبكة تتبع مؤسسة سلامة الطيران (Flight Safety Foundation, FSF)، وتقوم بعملها معتمدة على المصادر الموثوقة. وهذه الشبكة ليست الوحيدة التي تعمل في الميدان، فهناك منظمات أخرى غيرها.

ما هو حادث الطيران

نظراً لدقة التعاريف فقد أحببت ذكرها باللغة الإنجليزية كما جاءت في الملحق 13 من الاتفاقية الدولية للطيران المدني (The Convention on International Civil Aviation)حيث تنص على ما يلي:

Accident: an occurrence associated with the operation of an aircraft, which takes place between the time any person boards the aircraft with the intention of flight until such time as all such persons have disembarked, in which:

- a person is fatally or seriously injured as a result of being in the aircraft, or direct contact with any part of the aircraft, including parts which have become detached from the aircraft, or direct exposure to jet blast, except when the injuries are from natural causes, self-inflicted or inflicted by other persons, or when the injuries are to stowaways hiding outside the areas normally available to the passengers and crew; or
- the aircraft sustains damage or structural failure which adversely affects the structural strength, performance or flight characteristics of the aircraft, and would normally require major repair or replacement of the affected component, except for engine failure or damage, when the damage is limited to the engine, its cowlings or accessories, or for damage limited to propellers, wing tips, antennas, tires, brakes, fairings, small dents or puncture holes in the aircraft skin; or
- the aircraft is missing or is completely inaccessible.

فحادث الطيران إذاً هو أي حدث له علاقة بتشغيل الطائرة يحصل بين لحظة صعود أول راكب إلى الطائرة إلى لحظة نزول آخر راكب منها، ويحصل فيه أمر مما يلي:

- وفاة أو إصابة خطيرة لشخص نتيجة وجوده في الطائرة، أو على اتصال مباشر مع أي جزء من أجزائها، أو بسبب التعرض لنفحات المحرك النفاث. ويُستثنى من ذلك الإصابات الناتجة من الأسباب الطبيعية أو الإصابات الشخصية أو الناتجة عن شخص آخر، أو الإصابات الناتجة عن تهريب الأشخاص في الأماكن غير المخصصة للبشر. أو
- حصول عطل دائم أو انهيار في إنشاء الطائرة يؤثر على متانة الإنشاء أو أداء الطائرة أو خواصها ويتطلب إصلاحاً رئيسياً أو تبديلاً للأجزاء المتأثرة بالحادث، ما عدا أعطال المحركات وتوابعها وأطراف الجناح والهوائيات وعجلات الطائرة وفراملها أو الثقوب في القشرة الإنشائية للطائرة. أو
- فقدان الطائرة أو تعذّر الوصول إليها كلياً.

مع ملاحظتين:

Note 1: For statistical uniformity only, an injury resulting in death within thirty days of the date of the accident is classified as a fatal injury by the International Civil Aviation Organization (ICAO).

الملحوظة الأولى: لأسباب إحصائية، فإن الإصابة التي تؤدي إلى الموت خلال ثلاثين يوماً من الحادث تسمى إصابة مميتة من قِبل منظمة الطيران المدني الدولية.(ICAO)

Note 2: An aircraft is considered to be missing when the official search has been terminated and the wreckage has not been located.

الملحوظة الثانية: تُعد الطائرة مفقودة عندما يتم التوقف رسمياً عن البحث عنها ولا يتم تحديد مكان حطامها.

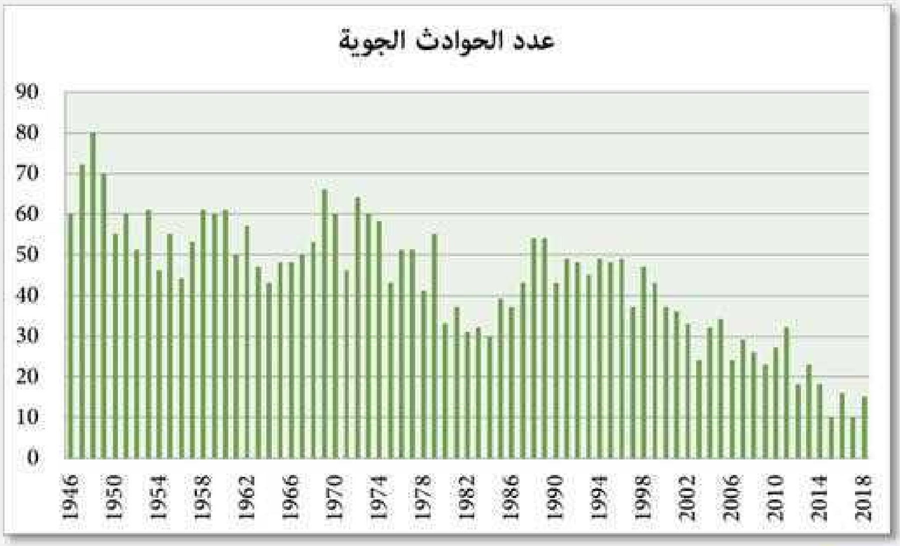
ويُضاف إلى ذلك تعريف الحدث:

Incident: an occurrence, other than an accident, associated with the operation of an aircraft which affects or could affect the safety of operation.

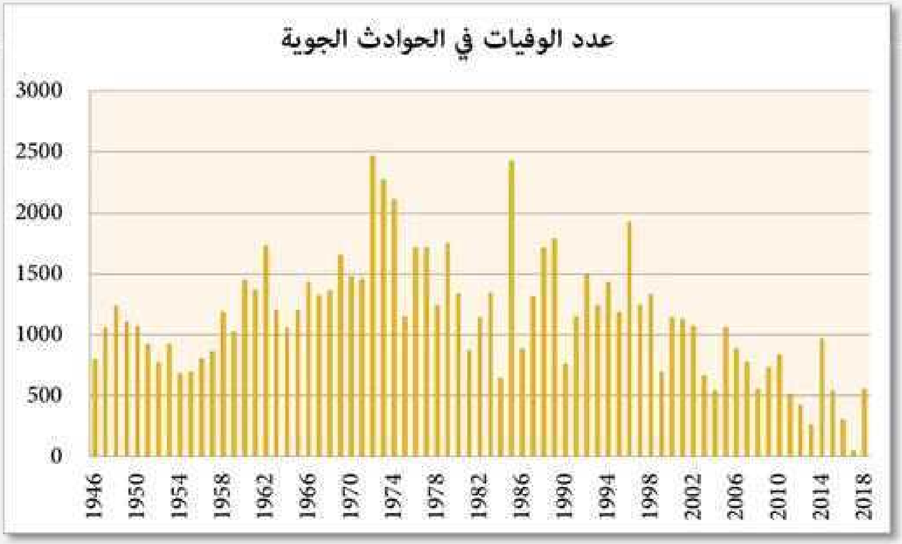
فالحدث هو حصول أمر غير الحادث المعرّف آنفاً، يتعلق بتشغيل الطائرة ويؤثر على سلامة التشغيل. وهناك أيضاً تعريف الحدث الجّلل أو الخطير:

Serious incident: an incident involving circumstances indicating that an accident nearly occurred.

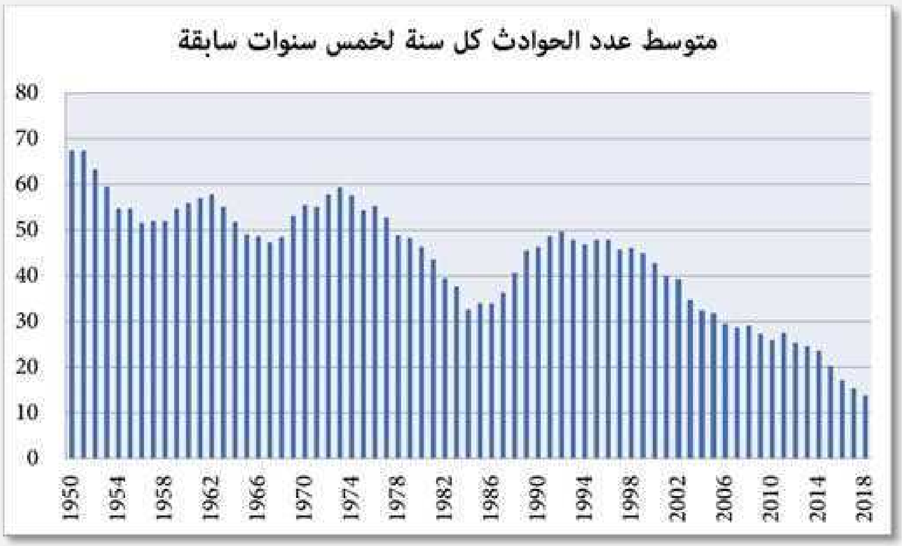
وهو حدث يتضمن ظروفاً تدل على أن حادثاً



الشكل 1



الشكل 2



الشكل 3

وقع تقريباً.

وهناك تعريف للإصابة الخطيرة، وهي باختصار أي إصابة تتطلب استشفاء لأكثر من 48 ساعة، أو تودي إلى كسر في العظام، أو نزف، أو إصابة لأي عضو داخلي، أو تؤدي إلى حروق من الدرجة الثانية أو الثالثة، أو التعرض لمواد معدية أو إشعاعات ضارة.

أول حادث في الطيران

أول حادث مسجل في عالم الطيران هو تحطم بالون في فرنسا سنة 1785م وقُتل فيه مخترعه وزميله الذي كان معه. أما أول حادث لطائرة أثقل من الهواء فقد حصل في الولايات المتحدة الأمريكية سنة 1908م، حيث أُصيب فيه واحد من الأخوين رايت (اللذين سجلا أول إقلاع لطائرة) وقُتل فيه الراكب الذي كان معه.

حوادث طائرات النقل الجوي

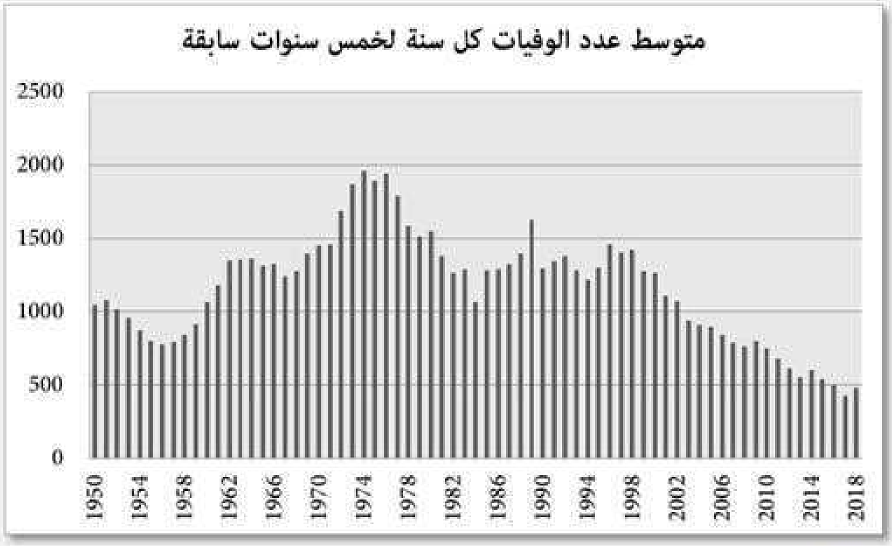
تشمل إحصائيات شبكة سلامة الملاحة الجوية حوادث طائرات النقل التجاري (commercial aircraft) في العالم، متضمنة رحلات الركاب (passenger flights) ورحلات الشحن الجوي (cargo flights)، كما تقتصر على الطائرات المدنية المرخصة لحمل (14) راكباً فأكثر.

وتحتفظ شبكة سلامة الملاحة الجوية بإحصائيات الحوادث منذ 1946. ويوضح الشكل (1) إحصائية حوادث طائرات النقل التجاري في العالم منذ ذلك التاريخ وحتى نهاية 2018، كما يوضح الشكل (2) إحصائية عدد الوفيات في هذه الحوادث. ومن الشكل (1) نجد أن أكبر عدد للحوادث هو في العام 1948 حيث وصل عدد الحوادث إلى (80) حادثًا، بلغ عدد الوفيات فيها (1234) شخصًا، في حين أقل عدد للحوادث حصل في سنتي 2015 و 2017، حيث انخفض عدد الحوادث في كل من هاتين السنتين إلى (10) حوادث، وبلغ عدد الوفيات فيهما (527) و (44) على التوالي.

أي أن العام، 2017، سجّل أقل عدد من الحوادث منذ بداية عصر النقل الجوي التجاري، حيث تم إحصاء (10) حوادث فقط خلاله، ونتج عنها وفاة (44) شخصاً من ركاب الطائرات، إضافة إلى وفاة (35) شخصاً على الأرض، مما يجعل العام 2017 هو العام الأكثر سلامة في عالم النقل الجوي التجاري، سواء من حيث عدد الحوادث أو من حيث عدد الوفيات الناتجة عنها، في حين سجّل العام 2018 (14) حادثاً مميتاً نتج عنها (556) وفيات، وسجل العام 2016 (16) حادثاً مميتاً نتج عنها (303) وفيات.

متوسط حوادث طائرات النقل الجوي

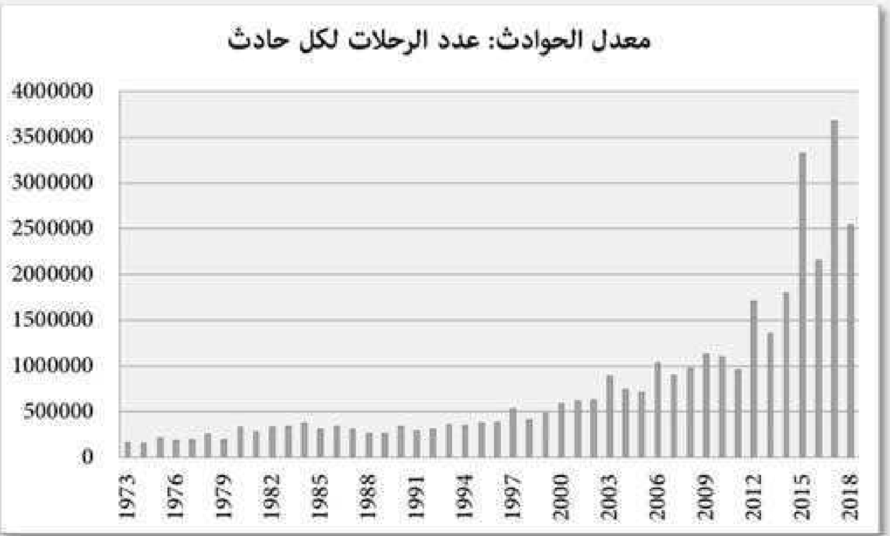
حيث أن عدد الحوادث يتأرجح من عام إلى عام كما في الشكل (1) فإنه من المعتاد النظر إلى متوسط عدد الحوادث لمدة خمس سنوات، أي



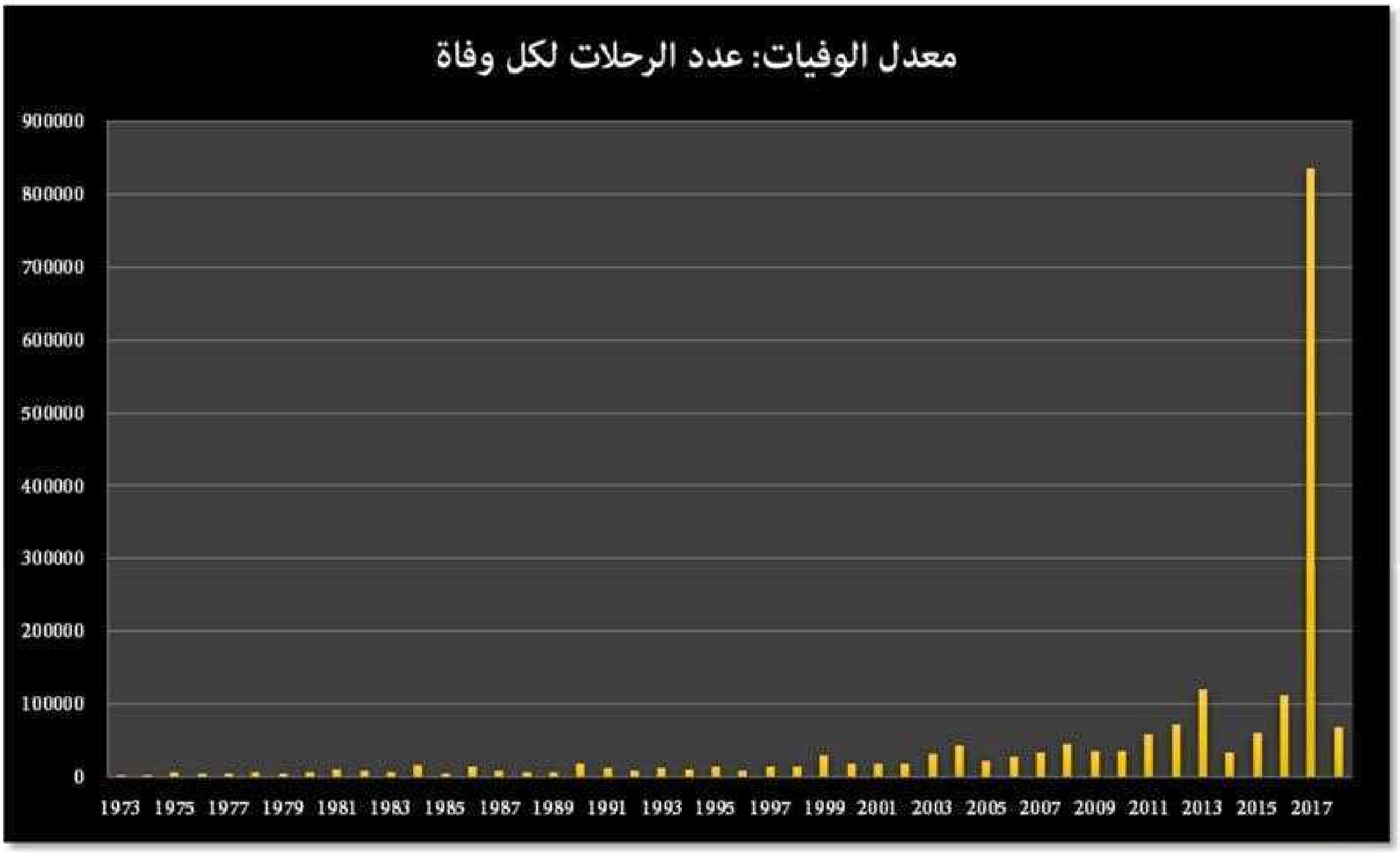
الشكل 4



الشكل 5



الشكل 6



الشكل 7

متوسط عدد الحوادث في السنة المعنية مع أربع سنوات سابقة لها. ويوضح الشكل (3) متوسط عدد الحوادث لمدة خمس سنوات بدءاً من العام 1950، كما يوضح الشكل (4) متوسط عدد الوفيات لمدة خمس سنوات في الفترة نفسها. ومنه يتضح أن المتوسط هذا هو الأقل في العام 2017 في عدد الوفيات.

معدل حوادث طائرات النقل الجوي

على أن عدد الحوادث لا ينبغي النظر إليه منفصلاً عن عدد الرحلات، إذ إن عدد الرحلات الجوية يزداد عاماً بعد عام، ويوضح الشكل (5) أعداد الرحلات منذ العام 1973، حيث بلغ عدد الرحلات الجوية في تلك السنة (9.764.900) رحلة، في حين بلغ عدد الرحلات في العام 2018 حوالي (38.100.000) رحلة .

أي إن معدل الحوادث في العام 1973 هو حادث مميت واحد لكل (162.748) رحلة، ومعدل الوفيات هو حالة وفاة واحدة في كل (4305) رحلات. وهذه الأرقام يصعب مقارنتها مع أرقام العام 2017 الذي معدل الحوادث فيه هو حادث مميت واحد لكل (3.680.000) رحلة، ومعدل الوفيات هو حالة وفاة واحدة في كل (836.364) رحلة. في حين هذه الأرقام في العام 2018 هي على التوالي حادث مميت واحد لكل (2,540,000) رحلة، ومعدل الوفيات هو حالة وفاة واحدة في كل (68.525) رحلة.

ويبين الشكل (6) معدل الحوادث، أي عدد الرحلات لكل حادث، وذلك منذ 1973، في حين يوضح الشكل (7) معدل الوفيات، أي عدد الرحلات لكل حادثة وفاة.

إحصائيات أخرى

كما ذكرنا آنفاً فإن شبكة سلامة الملاحة الجوية ليست الوحيدة التي تعمل في الميدان، فهناك منظمات أخرى غيرها. ولذا قد تجد أن الإحصائيات تختلف من جهة إلى أخرى. والسبب ليس تضارب المعلومات، وإنما هو بسبب التعريفات التي فرضتها كل منظمة على نفسها في عمل الإحصائيات. فمثلاً، الحوادث العشر المذكورة سنة 2017 لا تشمل حوادث طائرات النقل العسكري (military transport aircraft)، كما لا تشمل الرحلات غير التجارية (non-commercial flights) أي لا تشمل الطيران الخاص. فإذا أضيفت حوادث هذه الطائرات سنة 2017 إلى الإحصائية المذكورة أعلاه يصبح عدد الحوادث المميتة في سنة 2017 (24) حادثاً، ويصبح عدد الضحايا (230) وفاة. وعلى كل حال فإنه حتى هذه الأرقام تمثل الحوادث الأقل في التاريخ الحديث للطيران.

تصنيف حوادث 2017 و2018

يوضح الجدول (1) بعض التفصيلات عن الحوادث الجوية سنة 2017. ومنه يتضح أن الحوادث العشر كان منها خمس طائرات ركاب، وخمس طائرات شحن جوي. أما مرحلة الطيران فهناك ثلاثة حوادث في مرحلة الاقتراب، وحادثان في مرحلة الهبوط، وثلاثة حوادث في الطريق، وحادثان في مرحلة الصعود الأولي. أما الجدول (2) فيوضح بعض التفصيلات عن الحوادث الجوية سنة 2018.

أسباب انخفاض عدد الحوادث في السنوات الأخيرة

يُلاحظ من الأشكال السابقة أنه مع بداية القرن الحادي والعشرين فإن عدد حوادث النقل الجوي وعدد الوفيات في هذه الحوادث في انخفاض متواصل. ويمكن إرجاع السبب إلى الجهود التي تبذلها مختلف المنظمات التي لها علاقة بالطيران بالتعاون مع شركات صناعة الطائرات لوضع قواعد السلامة فوق كل اعتبار. ومن هذه المنظمات: منظمة الطيران المدني الدولية (The International Civil Aviation Organization ICAO) والجمعية الدولية للنقل الجوي (The International Air Transport Association IATA) ومؤسسة سلامة الطيران (Flight Safety Foundation) وغيرها من المنظمات ■

الجدول 1 | الحوادث الجوية 2017

بلد الحادث	مرحلة الرحلة	نوع الرحلة	الوفيات الأرضية	عدد الوفيات	الشركة المشغلة	نوع الطائرة	التاريخ
قيرقيزستان	الاقتراب	شحن جوي	35	4	THY Turkish Airlines, opb MyCargo	Boeing 747-412F	**1/16/2017**
إندونيسيا	في الطريق	شحن جوي		1	Spirit Avia Sentosa	Cessna 208 Caravan I	**4/12/2017**
الولايات المتحدة الأمريكية	في الطريق	نقل ركاب		1	Grant Aviation	Cessna 208B Grand Caravan	**5/1/2017**
الولايات المتحدة الأمريكية	الهبوط	شحن جوي		2	Air Cargo Carriers	Shorts 330-200	**5/5/2017**
نيبال	الهبوط	شحن جوي		2	Summit Air	Let L-410UVP-E20	**5/27/2017**
ساحل العاج	الاقتراب	شحن جوي		4	Valan International Cargo Charter	Antonov An-26-100	**10/14/2017**
روسيا	الاقتراب	نقل ركاب		6	Khabarovsk Avia	Let L-410UVP-E20	**11/15/2017**
تنزانيا	في الطريق	نقل ركاب		11	Coastal Aviation	Cessna 208B Grand Caravan	**11/15/2017**
كندا	الصعود الأولي	نقل ركاب		1	West Wind Aviation	ATR 42-320	**12/13/2017**
كوستا ريكا	الصعود الأولي	نقل ركاب		12	Nature Air	Cessna 208B Grand Caravan	**12/31/2017**

الجدول 2 | الحوادث الجوية 2018

بلد الحادث	مرحلة الرحلة	نوع الرحلة	عدد الوفيات	الشركة المشغلة	نوع الطائرة	التاريخ
روسيا	في الطريق	نقل ركاب	71	Saratov Airlines	Antonov An-148-100B	**02/11/2018**
إيران	في الطريق	نقل ركاب	66	Iran Aseman Airlines	ATR 72-212	**2/18/2018**
نيبال	الهبوط	نقل ركاب	51	US-Bangla Airlines	de Havilland Canada DHC-8-402Q Dash 8	**03/12/2018**
الولايات المتحدة الأمريكية	في الطريق	نقل ركاب	1	Southwest Airlines	Boeing 737-7H4 (WL)	**4/17/2018**
نيبال	في الطريق	شحن جوي	2	Makalu Air	Cessna 208B Grand Caravan	**5/16/2018**
كوبا	الصعود الأولي	نقل ركاب	112	Cubana de Aviación	Boeing 737-201 Adv.	**5/18/2018**
كينيا	في الطريق	نقل ركاب	10	Fly-SAX	Cessna 208B Grand Caravan	**06/05/2018**
غينيا	في الطريق	شحن جوي	4	Eagle Air (Guinea)	Let L-410UVP	**6/24/2018**
جنوب أفريقيا	الاقتراب	نقل ركاب	1	Rovos Air	Convair CV-340	**07/10/2018**
سويسرا	في الطريق	نقل ركاب	20	Ju-Air	Junkers Ju-52/3mg4e	**08/04/2018**
جنوب السودان	الاقتراب	نقل ركاب	20	Slaver Company	Let L-410UVP	**09/09/2018**
مايكرونيسيا	الاقتراب	نقل ركاب	1	Air Niugini	Boeing 737-8BK (WL)	**9/28/2018**
إندونيسيا	في الطريق	نقل ركاب	189	Lion Air	Boeing 737 MAX 8	**10/29/2018**
غوايانا	الهبوط	نقل ركاب	1	Fly Jamaica Airways	Boeing 757-200	**11/09/2018**
جمهورية الكونغو	في الطريق	شحن جوي	7	Gomair	Antonov An-26	**12/20/2018**

ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

السنة الخامسة - العدد 16 - أيلول (سبتمبر) 2019

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag



ما هي كلفة تشغيل طائرات النقل؟



الطائرة الكهربائية



طائرة غريبة من إيرباص



ما هو ميكانيك الطيران؟





كلفة تشغيل طائرات الركاب

أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في هندسة الطيران

في ظل المنافسة بين شركات الخطوط الجوية على أسعار تذاكر السفر، لابد أن تكون كلفة تشغيل الطائرات حاضرة أمام الإدارات التي تقوم بتسعير التذاكر. وفي الحقيقة فإن مهندسي تصميم الطائرات يأخذون كلفة التشغيل في الاعتبار منذ المراحل الأولى للتصميم، لأن ارتفاع كلفة التشغيل بالمقارنة مع طائرات أخرى يؤدي إلى عدم الطلب على الطائرة، وبالتالي يصبح مشروع إنتاج الطائرة لا ضرورة له من البداية.

وفي هذه المقالة، ألقي الضوء على طريقة تقدير كلفة تشغيل طائرات الركاب التي يستخدمها مهندسو تصميم الطائرات والتي تؤثر على اختياراتهم لمتغيرات التصميم. ولذا فإن التركيز هنا على كلفة التشغيل المباشرة (Direct Operating Cost, DOC) مع إشارات عابرة إلى الكلفة غير المباشرة (Indirect Operating Cost, IOC) كالتي تتعلق بتسويق الشركة المشغّلة وتكاليف بيع التذاكر... إلخ.

ولا شك أن أهم عامل مالي يتعلق بالشركة المنتِجة للطائرة هو عائد الاستثمار (Return On Investment, ROI) والذي يتعلق بعوامل عديدة، منها مثلاً عدد الطائرات المنتَجة من هذا النوع. وبالطبع فإن العائد لن يكون سريعًا، بل يتطلب عدة سنوات للوصول إلى ما يُسمى نقطة التعادل (Break-Even) التي يبدأ تحقيق الأرباح بعدها. وبالتالي، فإذا لم تستطع الشركة المنتِجة إقناع شركات الطيران بأن هذه الطائرة اقتصادية، فقد يتوقف المشروع ولا يتم إنتاج الطائرة أصلاً. ولعلنا نذكر أن مشروع طائرة الكونكورد (المتقدمة في عصرها) قد فشل لأنه لم ينتج غير 18 طائرة منها بسبب الحملة ضدها من الولايات المتحدة الأمريكية، وأيضًا بسبب ارتفاع كلفة تشغيلها، لأنها كانت تستهلك الوقود بشراهة. وقد عاصر ظهورها ظهور طائرة البوينغ الجامبو 747 التي كان استهلاكها للوقود يعادل ثلث استهلاك الكونكورد. ومن الجدير ذكره أن استهلاك الوقود في الطائرات يُعبّر عنه بوحدة (راكب – ميل) لكل جالون، أي



الشكل 1 | مخطط كلفة التشغيل المباشرة للطائرة

المسافة التي يقطعها الراكب الواحد لكل جالون من الوقود. والسبب في ارتفاع استهلاك الوقود في الكونكورد حسب هذه الوحدة، هو أن عدد ركابها بحدود مائة راكب، في حين يبلغ عدد ركاب البوينغ الجامبو أربعة أضعاف ذلك.

شركات خطوط الطيران وتقدير كلفة التشغيل

قد تختلف طريقة تقدير كلفة تشغيل الطائرات من شركة طيران لأخرى، بسبب معطيات وظروف كل شركة. وإن كان هناك قواعد عامة للتقدير. وحيث يصعب الإحاطة بالطرق المختلفة التي تستخدمها شركات الطيران، فإن الطريقة المعروضة هنا يمكن أن تُستخدم كطريقة إرشادية للمقارنة بين كلفة تشغيل مختلف أنواع الطائرات، ولا تنطبق بالضرورة على كل شركات الطيران التي تستخدم طرقًا أخرى معتمدة على أسلوبها في تشغيل الطائرات والعوامل الأخرى لدى الشركة نفسها.

كُلفة التشغيل المباشرة

هذه الكُلفة يمكن تصنيفها تحت ثلاثة عناوين:

1. كُلفة الطيران.(Flight costs)
2. كُلفة الصيانة .(Maintenance costs)
3. كُلفة الوقوف.(Standing charges)

ويمكن تمثيلها بالمخطط المبسط الواضح في الشكل 1، وفيما يلي بعض التفاصيل عن كل بند من بنودها.

كُلفة الطيران

هذه الكلفة ربما هي أسهل بند في الحساب. وتتألف من ثلاثة بنود:

- كلفة طاقم الطائرة (Crew cost).
- كلفة الوقود والزيت (Fuel and oil cost).
- رسوم الهبوط والملاحة (Landing and navigational charges).

كُلفة طاقم الطائرة

وتتألف من رواتب ملاحي الطائرة، أو طاقم القيادة (flight crew) وطاقم الخدمة أو المضيفين (cabin staff). والطائرات الحديثة كلها تتطلب ملاحَين اثنين، ولكن في الرحلات الطويلة قد يتطلب الأمر وجود ملاحَين اثنين احتياطيين، كما يتطلب وجود ملاحين آخرين لرحلة العودة، في حين يبقى ملاحو الطائرة في الوجهة ليستريحا ويعودا في رحلة أخرى. وهذا كله يتعلق بترتيب شركة الطيران.

أما طاقم الخدمة فيُحسب عادة مضيف واحد لكل (30-50) راكباً.

ومن المعتاد حساب 800 ساعة عمل سنوياً لكل عضو في الطاقم، وقد تزيد لطاقم الخدمة. لكن الرواتب تختلف من شركة طيران لأخرى حسب العقود بين شركة الطيران والأفراد.

كُلفة الوقود والزيت

تمثل كلفة الوقود نسبة مهمة من كلفة تشغيل الطائرة. ومن الصعب لمهندسي التصميم تقدير كلفة الوقود لفترة طويلة من الزمن، وذلك نظرا لأن أسعار الوقود تتأرجح على مدى السنين، صعودًا وهبوطًا.

رسوم الهبوط والملاحة

تختلف رسوم الهبوط من مطار إلى آخر، وفق أسعار تضعها إدارات المطارات في العالم، ومن هنا فإن الطيران الاقتصادي يختار المطارات الاقتصادية للهبوط فيها بدلاً من الهبوط في المطارات الأكثر ازدحاماً والتي ترتفع فيها رسوم الهبوط. وفي العادة تُحسب رسوم الهبوط لكل طن من الوزن الكلي للطائرة، وهذا يسهّل على مهندسي التصميم معرفة رسوم الهبوط بسبب معرفتهم للوزن الكلي للطائرة. كذلك فإن لكل نوع من أنواع الطائرات رسوم للملاحة، وهي معروفة ومنشورة في جداول خاصة. ويُضاف إليها رسوم الخدمة الأرضية للطائرة، وهذه تُحسب لكل راكب، لكن باعتبار العدد الكلي للمقاعد. وهكذا يمكن حساب الرسوم الكلية للمطار (Airport fees) بإضافة رسوم الهبوط، إلى رسوم الملاحة، إلى رسوم الخدمة الأرضية.

كُلفة الصيانة

تقدير كلفة الصيانة موضوع صعب نسبياً لعدم وضوح البنود الداخلة في الكلفة. وإضافة إلى ذلك فإن إنشاء مركز للصيانة أمر مكلف على الخطوط الجوية، فهو يتطلب مبنى كبيراً، وأجهزة متخصصة، وإدارة منفصلة. وقد تنشئ الخطوط الجوية شركة رديفة للصيانة، أو قد تتعاقد مع شركة صيانة متخصصة. ولذا فإنه في كثير من الأحيان يُنظر إلى إنشاء شركة للصيانة على أنه كلفة غير مباشرة في



الشكل 2 | تغير كلفة الإنتاج مع عدد الطائرات المنتجة

تشغيل الطائرة، وهذا يسهل عمل مهندسي التصميم في تقدير كلفة الصيانة.

ويدخل في كلفة الصيانة قيمة المواد وأجور العاملين في الصيانة، سواءً في الكشف الروتيني (Routine inspection)، أو خدمة الصيانة (Servicing)، أو الصيانة الدورية الدقيقة (Overhaul) التي تتم حسب عدد الرحلات المنقضية أو عدد ساعات الطيران التي تمت. وهذه الصيانة تتم على هيكل الطائرة (airframe) والمحركات (engines) ومختلف الأجهزة والأنظمة والملحقات. ومن الطبيعي إضافة كلفة إدارة الصيانة (overhead cost)، لتكتمل الصورة.

كُلفة الوقوف

كُلفة الوقوف تعني أن هذه الكلفة قائمة سواءً أطارت الطائرة أم لم تطر. وتشمل البنود الثلاثة التالية مرتبة حسب أهميتها:

- استهلاك رأس المال (Depreciation on the capital investment).
- الفائدة على رأس المال (Interest charges on capital employed).
- التأمين على الطائرة (Aircraft insurance).

وقد يُطلق على البندين الأول والثاني معاً اسم مشترك، وهو كُلفة التملك (Ownership cost).

استهلاك رأس المال

لكل طائرة عمر معين، كان في الماضي يتراوح بين 15-20 سنة، ولكن مع تقدم التقنية صار يتراوح بين 20-30 سنة. وفي كل الأحوال، هذا يعني أن رأس المال الذي استثمرته شركة الطيران في شراء الطائرة تتناقص قيمته مع مرور الزمن. وهذا البند هو أعلى البنود في كلفة التشغيل المباشرة للطائرة، إذ قد يصل إلى أكثر من ثلث الكلفة المباشرة. وحيث أن الطائرة تتم صيانتها لتبقى على أعلى درجات صلاحية الطيران (Airworthy)، فإنها دوماً قابلة للبيع، ولكن ليس بالسعر الذي اشتُريت به، إنما بسعر أقل، يُسمى القيمة المتبقية (Residual value)، والتي تقل مع مرور السنوات إلى أن تصبح صفراً بعد انقضاء العمر الافتراضي للطائرة.

واستهلاك رأس المال يعتمد على عوامل اقتصادية عديدة، مثل مقدار رأس المال المستثمَر، وسياسة الشركة في الشراء، والممارسات المحاسبية في الشركة، والشركات التي موّلت رأس المال، والظروف الاقتصادية العالمية وقت الشراء... الخ. ولذا فإن القيمة المتبقية للطائرة تعتمد أيضاً على هذه العوامل، وعلى العمر الافتراضي للطائرة. فمثلاً، لو فرضنا أن الطائرة بعد 16 سنة من التشغيل صارت قيمتها المتبقية 15% من كلفتها الإجمالية P، فإن استهلاك رأس المال في السنة يكون كالتالي:

$$d=[(P-0.15P)/P]/[16] =5.3125\%$$

على أن الكلفة الإجمالية للطائرة P ليست فقط ما تم دفعه لشرائها، وإنما يُضاف إليها حوالي 10-15% من قيمة الشراء لقطع الغيار التي يتم تخزينها (Spares Holding).

ويتم تسعير الطائرات بالشكل الذي يؤدي إلى عائد على الشركة المنتِجة وعائد على شركات الطيران المشغِّلة للطائرة. وبشكل عام فإن كلفة إنتاج الطائرة هي مجموع التكاليف التالية: كلفة التصميم (Design cost) وتتعلق بمدى التعقيد التقني في الطائرة، وكلفة إدارة التطوير (Overhead cost of development)، وكلفة الإنتاج (Production cost) وهذه تتعلق بتعقيد التصميم وعدد الطائرات المنتَجة من هذا النوع من الطائرات وعدد الشركات الداخلة في التصنيع. ومن الطبيعي أن نقول بأن كُلفة إنتاج الطائرة تتناسب طرداً مع وزن التشغيل الفارغ للطائرة (Operating empty weight). فمثلاً، سعر طائرة البوينغ الجامبو 747 وسعر طائرة الإيرباص السوبر جامبو 380، أعلى من أسعار الطائرات الأخرى حتى قبل النظر إلى تكاليف التقنيات المتقدمة المستخدَمة في هذه الطائرات.

وتقل كُلفة الإنتاج مع زيادة عدد الطائرات المنتَجة من كل نوع من أنواع الطائرات. ومن المنطقي أن تكون كلفة إنتاج طائرة جديدة كلياً أعلى من كلفة إنتاج طائرة مشتقة من طائرة

سابقة. وهذا موضح تمثيليًا في الشكل 2. وتستطيع الشركة، باستخدام مثل هذا المنحنى، أن تعرف العدد الأدنى من الطائرات الذي يعطي نقطة التعادل في الأرباح (break-even)، أي لا أرباح ولا خسائر.

الفائدة على رأس المال

يصعب على شركات خطوط الطيران أن تدفع قيمة الطائرات التي تشتريها، لاسيما عندما تطلب عدداً كبيراً من الطائرات. صحيح أنها لن تدفع القيمة كلها دفعة واحدة، وأنها ستدفع الفاتورة على دفعات حسب تواريخ التسليم وحسب مواعيد محددة بالاتفاق مع الشركة المصنّعة، لكن دفع مليارات الدولارات لكل صفقة ليس بالأمر السهل. ولهذا فإن شركات الخطوط الجوية تضطر إلى الاقتراض من البنوك ومن شركات التمويل، والتي بدورها تريد حصتها من الأرباح. وبغض النظر عن طريقة الشراكة بين هذه المؤسسات وشركة خطوط الطيران فهناك مبالغ إضافية مترتبة على شركات الطيران من أجل الحصول على التمويل. وتختلف هذه المبالغ من بلد إلى آخر، ومن شركة لأخرى. كما تعتمد على الوضع الاقتصادي المحلي والعالمي، وعلى الوضع المالي لشركة خطوط الطيران... الخ.

التأمين على الطائرة

كما هو الحال في باقي شؤون الحياة المعاصرة، فإن التأمين على الطائرة إلزامي من أجل ألا تفلس شركة خطوط الطيران عند حصول حادث لإحدى طائراتها، حيث تقوم شركة التأمين بتحمل المخاطر المتفق عليها في عقد التأمين. وتختلف أسعار شركات التأمين حسب عوامل عديدة، وتقع بين 1%-3% من قيمة الطائرة.

استئجار الطائرة

يتفرع عن موضوع تمويل شراء الطائرات موضوع مهم، ألا وهو: هل الأفضل لشركة خطوط الطيران شراء الطائرة أم استئجارها (leasing) من مؤسسة تمويلية تقوم بشراء الطائرات وتؤجرها لشركات خطوط الطيران؟ من ناحية التكاليف، ربما تكون كلفة الاستئجار أعلى من كلفة الشراء، ولكن هذا خيار موجود، وله مزايا لكل من مؤسسات التمويل وشركات الطيران. وفي حالة الاستئجار يصبح حساب كلفة الوقوف سهلاً، حيث يحل إيجار الطائرة محل البنود الثلاثة الداخلة في كلفة الوقوف.

الكلفة غير المباشرة لتشغيل الطائرة

تتضمن الكلفة غير المباشرة بنوداً كثيرة، ورغم أنها مشتركة بين شركات الطيران لكن تختلف طرق حسابها من شركة لأخرى. ومن هذه البنود:

- مَرافق الشركة وصيانة هذه المَرافق.
- الأجهزة الأرضية وصيانتها.
- مصاريف الإدارة.
- مصاريف الخدمات الإدارية والفنية.
- خدمات الركاب (الحجز، التذاكر، العفش... الخ).
- التعامل مع وكالات السفر.
- الدعايات والعروض الترويجية ومصاريف البيع.
- العلاقات العامة.
- تدريب العاملين في مختلف وظائف شركة الخطوط.

وحسب سياسات كل شركة فإن الكُلفة غير المباشرة يمكن أن تنخفض إلى 15% من كلفة التشغيل الإجمالية لدى شركات الطيران الاقتصادي، أو ترتفع إلى 50% لدى شركات الطيران الكبرى. ولذا فإن من مهام الإدارة مراقبة هذه التكاليف حتى لا تتضخم على حساب كلفة التشغيل المباشرة.

مُعاملات التكلفة

كيف يمكن جمع كل التكاليف السابقة معاً لتكون مفيدة لشركة الطيران في حساب كُلفة التشغيل؟ هنا يأتي دور مُعاملات التكلفة (cost parameters).

يتم تحويل كل بند من التكاليف السابقة إلى كلفة ساعة طيران واحدة. ولذا فإنه لابد من معرفة عدد ساعات الطيران المفيدة للطائرة في السنة (aircraft utilization per year). ثم بعد ذلك يتم حساب التكاليف لخط معين من رحلات الطائرة، وتُسمى كُلفة المرحلة (Stage cost)، وذلك بضرب كلفة الساعة بزمن الرحلة. وهذا الزمن يُحسب من لحظة تحرك الطائرة إلى لحظة توقفها. ثم يتم حساب كُلفة الميل الواحد (Mile cost) من الرحلة وذلك بتقسيم كلفة المرحلة على مسافة الرحلة. ثم يتم حساب كلفة المقعد الواحد في الميل (Seat mile cost) وذلك بتقسيم كلفة الميل على عدد مقاعد الطائرة.

وكما ذُكر آنفاً، تختلف طرق حساب كلفة التشغيل من شركة لأخرى، وعلى شركة الطيران الانتباه جيداً للأرقام التي تعرضها الشركة المصنّعة للطائرة، فقد تكون الطريقتان مختلفتين في الحساب.

تأثير التصميم على كلفة التشغيل

يؤثر تعقيد التصميم بشكل مباشر على كلفة التشغيل كما رأينا آنفاً. كما يؤثر الأداء على كلفة التشغيل، وخصوصا من حيث استهلاك الوقود. ومن الضروري لمهندسي التصميم إدراك ذلك من أجل المساعدة على إنجاح مشروعهم وجعله مناسباً لشركات الطيران ■



ثقافية علمية تهتم بعالم الطيران

مجلة الطيران للجميع

www.ffamag.com | /flightforallmagazine | /flightforallmag

السنة السادسة - العدد 17 - نيسان (أبريل) 2020



ما هي القوة "ج"؟

الطائرات في الأزمات

الدرون والسلامة الجوية

علاج مشاكل الأذن في الجو؟



حوادث الطيران 2019



أ.د. محمود نديم نحاس
خبير في مجال الطيران

خلاصة حوادث الطائرات في العام 2019

تميزت سنة 2019 بكونها واحدة من السنوات ذات الحوادث القليلة في عالم الطيران. فقد حدث فيها 20 حادثة من الحوادث المصنفة على أنها حوادث مميتة، وقضى نحبه فيها 283 شخصًا.

ورغم حادثة طائرة بوينغ B737 MAX الشهيرة فإن سنة 2019 تبقى ضمن السنوات الآمنة في عالم الطيران.

وبالرجوع إلى الشكل 1، الذي يوضح عدد حوادث الطيران المدني منذ الأربعينيات من القرن العشرين، يتضح أن عدد الحوادث في العام 2019 قد زاد عن متوسط عدد الحوادث في السنوات الخمس السابقة، هذا المتوسط ممثل بالخط الأحمر في الشكل. أما عدد الوفيات في حوادث الطائرات في العام 2019 (وهو 283 فردًا) فإنه انخفض عن متوسط عدد الوفيات في حوادث الطائرات في السنوات الخمس السابقة (وهو 480 فردًا). وهذا يجعل العام 2019 السابع في ترتيب السنوات الأكثر أمانًا من حيث عدد الحوادث القاتلة، والثالث من حيث عدد الوفيات، مما يبقي العام 2017 العام الأكثر أمانًا من حيث عدد الحوادث المميتة (10 حوادث) وعدد الوفيات (44 فردًا).

تحليل إحصائيات الحوادث

الإحصائيات الخاصة بعدد حوادث الطائرات المدنية في العام 2019، وعددها عشرون، تتضمن الحوادث في الطائرات التي تحمل أكثر من 14 راكبًا، وما يماثلها من طائرات الشحن الجوي. وبتحليل الإحصائيات نجد الآتي:

- نوع الطائرة: 14 حادث لطائرات ركاب، و 6 حوادث لطائرات شحن جوي.
- مرحلة الطيران: 3 حوادث في مرحلة الإقلاع Take-off، و 10 حوادث في مرحلة الطيران En-Route، و 3 حوادث في مرحلة الاقتراب Approach، و 4 حوادث في مرحلة الهبوط Landing، في حين لم يحصل أي حادث في مرحلة الصعود Climb. وهذا كله ممثل في الشكل 2.
- الموقع الجغرافي للحوادث: 11 حادثًا حصلت في أمريكا الشمالية، بما فيها 5 حوادث حصلت في مناطق نائية في كندا وألاسكا، رغم كل مبادرات وأنظمة السلامة المتخذة في كل من كندا والولايات المتحدة الأمريكية. في حين كان نصيب باقي قارات العالم 9 حوادث. ويوضح الشكل 3 مواقع الحوادث العشرين كلها.
- توزع الحوادث على مدى العام: يوضح الشكل 4 توزع الحوادث العشرين على مدى العام مع بيان عدد الوفيات في كل حادث.

ويلخص الجدول المرفق أهم المعلومات عن الحوادث العشرين التي حصلت في عالم الطيران في العام 2019.

الجدول 1 | حوادث الطيران المميتة 2019

م	التاريخ	نوع الطائرة	شركة التشغيل	الوفيات	المرحلة	البلد	سبب الحادث
1	08/02/2019	Convair C-131	Conquest Air Cargo	1	الطيران	أمريكا	
2	23/02/2019	Boeing 767-300	Atlas Air/Amazon	3	الطيران	أمريكا	فقدان التحكم
3	09/03/2019	Douglas DC-3	LASER	14	الطيران	كولومبيا	هبوط اضطراري
4	10/03/2019	Boeing 737 MAX 8	Ethiopian Airlines	157	الطيران	إثيوبيا	فقدان التحكم
5	06/05/2019	Sukhoi Superjet	Aeroflot	41	الهبوط	روسيا	هبوط اضطراري
6	13/05/2019	DHC-3T	Taquan	1	الطيران	أمريكا	اصطدام
7	27/06/2019	Antonov An-24	Angara	2	الهبوط	روسيا	انحراف عن المدرج
8	26/07/2019	Cessna 208	Seair	4	الطيران	كندا	تضاريس (CFIT)
9	06/08/2019	Cessna 208B	Alkan Air	2	الطيران	كندا	
10	11/09/2019	Convair CV-440	Ferreteria e Implementos S.F.	2	الاقتراب	أمريكا	
11	18/09/2019	DHC-6	Rimbun Air	4	الطيران	إندونيسيا	تضاريس (CFIT)
12	23/09/2019	Cessna 208B	Auric Air	2	الإقلاع	تنزانيا	
13	02/10/2019	Boeing B-17	The Collings Foundation	7	الهبوط	أمريكا	تعطل المحرك
14	04/10/2019	Antonov An-12	Ukraine Air Alliance	5	الاقتراب	أوكرانيا	تضاريس (CFIT)
15	17/10/2019	Saab 2000	PenAir	1	الهبوط	أمريكا	انحراف عن المدرج
16	26/10/2019	DHC-3T	Blue Water Av. Svc	3	الاقتراب	كندا	انهيار إنشائي
17	24/11/2019	Dornier 228	Busy Bee	19	الإقلاع	كونغو الديمقراطية	
18	09/12/2019	Cessna 208B	Martinaire	1	الطيران	أمريكا	
19	24/12/2019	Cessna 208B	Calafia Airlines	2	الطيران	المكسيك	
20	27/12/2019	Fokker 100	Bek Air	12	الإقلاع	كازاخستان	فقدان التحكم



الشكل 1 | عدد حوادث الطيران على مدى السنين



الشكل 3 | توزع الحوادث على قارات العالم



الشكل 2 | توزع الحوادث على مراحل الرحلة



الشكل 4 | توزع الحوادث على أشهر العام 2019

التقدم في سلامة الطيران

هذه الحوادث العشرون إذا قورنت بعدد رحلات الطيران في العام 2019 والتي بلغت حوالي 39 مليون رحلة، نستنتج أن معدل الحوادث هو حادث مميت واحد لكل حوالي مليوني رحلة طيران. هذا المعدل في العام 2010 كان حادثًا لكل مليون ومائتي ألف رحلة تقريبا، وفي العام 2000 كان حادثًا لكل ستمائة ألف رحلة تقريبا. وهذه الأرقام تبرز بوضوح التقدم الهائل الحاصل في مجال سلامة الطيران على طول الزمن، ولاسيما منذ بداية القرن الحادي والعشرين.

نظرة على أسوأ حادث سنة 2019

لا شك أن أسوأ حادث في العام 2019 هو حادث الطائرة الإثيوبية الذي وقع في 2019/03/10 على الطائرة Boeing 737 MAX 8 بعد أربعة شهور من استلام الشركة الإثيوبية لها، وراح ضحيته 157 شخصًا، لاسيما وأنه مماثل لحادث طائرة شركة ليون إير (Lion Air) الإندونيسية الذي وقع في 2018/10/29 على طائرة من النوع نفسه Boeing 737 MAX 8 بعد ثلاثة شهور من استلام الشركة الإندونيسية لها، وراح ضحيته 189 شخصًا. وقد وُصفت الطائرة في كلا الحادثين بأنها Written off (damaged beyond repair)، أي لا قيمة لها لأنها تالفة ولا يمكن إصلاحها. وتفيد تقارير بأن مسار الطائرتين أظهر ارتفاعًا وهبوطًا حادين بشكل متكرر وغير منتظم، وتقلبًا في سرعة التحليق قبل تحطمهما بعد دقائق من إقلاعهما.

أقلعت الطائرة الإثيوبية (الموضحة في الشكل 5 في رحلة سابقة لهذه الرحلة) في رحلة مجدولة دولية منتظمة (رقمها ET302) من مطار أديس أبابا بولي الدولي Addis Ababa-Bole Airport إلى مطار جومو كينياتا الدولي في نيروبي، كينيا Nairobi-Jomo Kenyatta International Airport, Kenya في الساعة 08:38 (بالتوقيت المحلي) بتاريخ 10 مارس 2019. وتحطمت في الساعة 08:44 على بعد حوالي 60 كم من مطار الإقلاع، حيث لقي جميع الركاب (149 فردًا) والطاقم (8 أفراد) حتفهم ولم ينج منهم أحد. بُعيد الإقلاع؛ أبلغ الطيار عن مشكلة وطلب العودة إلى أديس أبابا، ولكنّ الطائرة اختفت من على شاشات الرادار بحلول الساعة 08:44 أي بعدَ ست دقائق فقط من إقلاعها. وأظهرت صور من موقع الحادث حفرة كبيرة مع قطع صغيرة متناثرة من الحطام، ما أكّد على أنّ شدّة الاصطدام بالأرض كانت قويّة جدًا لدرجة أنه لم ينجُ أحد.

والطائرة المحطمة كما ذُكر آنفًا هي من نوع بوينغ 737 ماكس 8، والتي طارت للمرة الأولى في 29 يناير 2016 ودخلت الخدمة في 2017، مما يجعلها واحدة من أحدث طائرات بوينغ التجارية، وأحدث طراز من طائرات بوينغ 737. وحتى يناير 2019، تم إنتاج 350 طائرة منها. وتمتازُ الطائرة من بأنها ذات محركين يُساعدانها في ضبط التوازن في الجو.

وعقب حادث الطائرة الإثيوبية، مُنعت الطائرة بوينغ 737 ماكس 8 من الطيران في عدد من الدول وعدد من شركات الطيران.

ويسود اعتقاد بين المختصين في حوادث الطيران أن شركة بوينغ تخفي معلومات عن المخاطر المحتملة المرتبطة بخاصية جديدة للتحكم في الطيران يشتبه في مسؤوليتها عن تحطم الطائرتين.

ودارت تساؤلات حول نظام آلي لمنع السقوط حال التحليق والمسمى نظام تعزيز خصائص المناورة Maneuvering Characteristics Augmentation System (MCAS) الذي تم إدخاله على هذا الطراز، والمصمم لتوجيه مقدّمة الطائرة للأسفل في حال كانت المقدمة مرتفعة للأعلى أكثر من اللازم وتواجه خطر السقوط. ويشير الحادثان إلى أنه كان من المفروض تدريب الطيارين على التعامل مع هذا النظام، الأمر الذي لم يتم على ما يبدو.

التحقيقات تدل على أن الطيارين اتبعوا إجراءات السلامة الصحيحة الموصى بها من شركة بوينغ، لكن الطيار أخبر بعد دقيقتين من الإقلاع أنه يواجه مشكلة في التحكم بالطائرة. وقد تم تحليل الصندوق الأسود المؤلف من مسجل بيانات الطيران (flight data recorder) ومسجل الصوت في

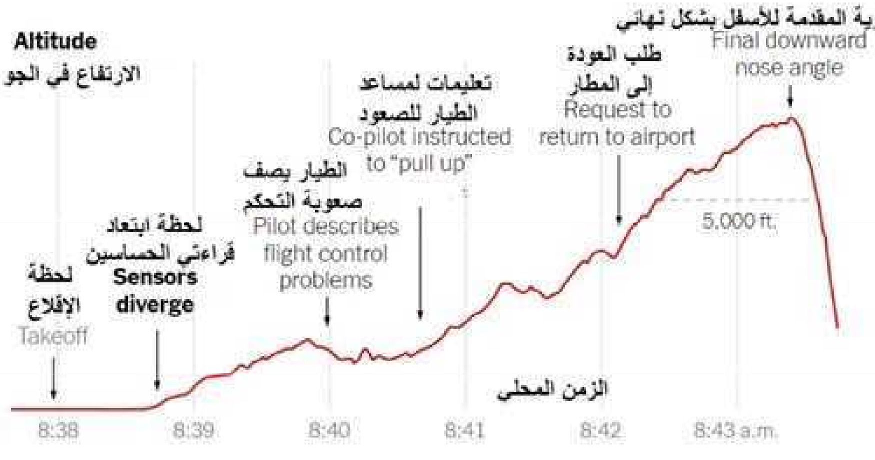


الشكل 5 | الطائرة الإثيوبية قبل هذه الرحلة

الشكل 6 | موضع حساس زاوية الهبوب



الشكل 7 | تغير زوايا الهبوب على الطرفين



الشكل 8 | مسار الطائرة

مقصورة القيادة (cockpit voice recorder). وقد أظهرت بيانات الطيران أنه بعد الإقلاع فإن الحساس الذي يقيس زاوية الهبوب على الطرف الأيسر بدأ يعطي قراءات مرتفعة (وصلت حتى 60 درجة) مشيرا بشكل خاطئ إلى أن الطائرة على وشك الانهيار (stalling). وهذا ما جعل نظام تعزيز خصائص المناورة (MCAS) للتدخل بدفع مقدمة الطائرة للأسفل (عن طريق التحكم بذيل الطائرة) للإقلال من زاوية الهبوب ومنع الانهيار. وقد حاول الطيار فصل هذا النظام عن العمل لكن النظام رجع إلى العمل سريعا ليدفع مقدمة الطائرة للأسفل. فاضطر الطيارون إلى استخدام قواعد الطوارئ وفصل النظام الكهربائي عن ذيل الطائرة، مما اضطرهم إلى التحكم بذيل الطائرة يدويًا من خلال عجلات عند أقدامهم، لكن الطيار ذكر بأن الطريقة اليدوية لا تعمل. مما اضطرهم إلى إعادة توصيل النظام الكهربائي لذيل الطائرة، لكن نظام تعزيز خصائص المناورة دخل على الخط مرة أخرى، ودفع الطائرة للأسفل في حالة انقضاض حيث لم يستطع الطيارون إنقاذها من السقوط. وهذا تقريبا مماثل لما حصل مع طائرة ليون إير الإندونيسية قبل هذا الحادث بخمسة شهور.

ويوضح الشكل 6 موضع حساس زاوية الهبوب على الطرف الأيمن، وهناك آخر مثله على الطرف الأيسر. ونقصد الطرف الأيمن والطرف الأيسر بالنسبة للطيار. كما يوضح الشكل 7 الاختلاف في قراءتي الحساسين الأيمن والأيسر بعد زمن يسير من الإقلاع، في حين يوضح الشكل 8 مسار الطائرة خلال الدقائق الست من هذه الرحلة المحزنة.

معلومات لسلامة الركاب

من المفيد جدًا لمن يسافر في الجو أن يراعي بعض التعليمات من أجل رحلة آمنة، على الأقل من جانبه. وهذه بعض التعليمات المنصوح بها:

- قبل الطيران: قبل حجز الرحلة وشراء تذكرة الطيران يبحث بعض الناس عن تاريخ الحوادث لشركات خطوط الطيران المرشحة لحملهم للوجهة المطلوبة. كما يبحث بعضهم عن تاريخ حوادث الطائرات التي تستخدمها هذه الخطوط. وحيث أن الخطأ البشري له نصيب كبير في الحوادث، سواء في سوء تصرف طاقم الطيران أو طاقم الصيانة، فإن كثرة الحوادث لشركة طيران معينة مؤشر على انخفاض قواعد السلامة لديها. وكذلك فإن كثرة الحوادث في نوع معين من الطائرات يدل على أخطاء فنية فيها.
- من الضروري التقيد بأنظمة الطيران وعدم حمل المواد الممنوعة على متن الطائرة. فهذه الأنظمة وُضعت لسلامة الركاب.
- في بداية الرحلة، يتوجب على الركاب متابعة تعليمات السلامة التي تُعرض عليهم، وكذلك الاطلاع على بطاقة السلامة المتوفرة في جيب ظهر المقعد الذي أمامهم. ومن الأمور المهمة معرفة مخارج الطوارئ القريبة منهم، ومعرفة فتحها في حالة الطوارئ. وإذا لم يكن هناك ضرورة لفك حزام الأمان، فالأفضل ربطه دوما، نظرا لأن حالات اضطراب الهواء حول الطائرة تحصل فجأة، وقد تؤدي إلى إصابات.
- اختيار الرحلات المباشرة عوضا عن الرحلات التي تتوقف في الطريق. ذلك لأن كثيرا من الرحلات تحصل في مراحل الإقلاع والصعود والاقتراب والهبوط، فتكون الرحلة المباشرة أقل تعرضا لمثل هذه الأحوال.
- من المهم تنفيذ أوامر المضيفين والمضيفات وعدم الاعتراض عليها، فهم أدرى بأحوال سلامة الطيران من الركاب.
- يفضل كثيرون الطائرات الكبيرة لأن فرصة النجاة فيها أكبر في حالة الحوادث.
- ينبغي تجنب وضع الحقائب الثقيلة في الخزائن فوق المقاعد لأنها في حالة الطوارئ يمكن أن تقع فوق الركاب وتسبب إصابات.
- في الرحلات الطويلة، من المفضل التحرك داخل الطائرة لتجنب تشكل الجلطات التي قد تحصل نتيجة عدم الحركة. وهناك بعض التمرينات المنصوح بعملها لتحريك الرأس والأطراف ■





9 781326 929671